UTILISATION DES FUMEES DE SILICE EN VUE D'AMELIORER LA RESISTANCE A COURT TERME DE CIMENTS AUX LAITIERS

(CONTRAT 12ST.23440-3-9061- NUMERO DE SERIE OST83.00056)

présenté par

Pierre-Claude AITCIN et Alain BEAUDET

de la

Faculté des sciences appliquées

de l'

Université de Sherbrooke

NOV 22 1984

MICROMEDIA

73pp

Aout 1984

TABLE DES MATIERES

1. OBJECTIFS DE LA RECHERCHE

2. MATERIAUX UTILISES

3. RESULTATS OBTENUS

4. ANALYSE DES RESULTATS

4.1 Propriétés du béton frais

4.1.1 Affaissement

4.1.2 Température

4.1.3 Teneur en air

4.1.4 Masse volumique

4.1.5 Quantité de superplastifiant

4.2 Propriétés du béton durci

4.2.1 Masse volumique

4.2.2 Résistance en compression

4.2.3 Résistance en flexion

4.2.4 Module d'élasticité

4.2.5 Retrait au séchage des bétons

5. CONCLUSION

6. RECOMMANDATION

Liste des figures et tableaux

Annexe

1. OBJECTIFS DE LA RECHERCHE

Lorsque dans un béton on remplace une certaine quantité de ciment par du laitier, on constate souvent que le béton obtenu présente des résistances en compression à court terme plus faibles que celles d'un béton ne contenant que du ciment portland. En effet, généralement l'hydratation des laitiers se développe plus lentement que celle du ciment portland. De façon à voir s'il est possible de corriger ce défaut des bétons aux laitiers, il a été décidé d'additionner des quantités croissantes de fumées de silice dans un liant mixte de base composé de 50% (en masse) de ciment et de 50% de laitier. Comme on peut le voir dans la figure 1, on a donc additionné successivement une quantité de fumées de silice égale à 5, 10, 15 et 20% de la masse de ciment et de laitier.

Nous avons fabriqué 3 séries de béton ayant des rapports eau/(ciment + laitier) de 0,65, 0,50 et 0,40, voir figure 2.

Nous avons effectué sur chacun des bétons tous les essais qui apparaissent dans le tableau 1, à savoir:

- densité du béton durci
- résistance en compression
- résistance en flexion
- module d'élasticité
- retrait au séchage.

La procédure de malaxage est celle représentée dans la figure 3, le nombre et la répartition des échantillons fabriqués sont indiqués dans le

tableau 2.

Dans un premier temps nous avons déterminé les proportions de chacun des constituants (pierre, sable, eau, ciment, laitier) de chacun des mélanges de contrôle ayant un rapport eau/(ciment + laitier) de 0,65, 0,50 et 0,40, de façon à obtenir un affaissement de 75 ± 5 mm.

Dans un deuxième temps nous avons fabriqué les bétons de référence en n'utilisant que du ciment portland comme liant. La quantité de ciment utilisée était équivalente à la masse totale de ciment et de laitier des mélanges de contrôle et les proportions de tous les constituants (pierre, sable, eau) étaient identiques à celles des mélanges de contrôle.

Dans un troisième temps nous avons additionné aux mélanges de contrôle des quantités variables (5, 10, 15 ou 20) de fumées de silice en prenant soin de retrancher une quantité de sable ayant le même volume que celui des fumées de silice introduites dans le mélange. Afin de maintenir le rapport eau/(ciment + laitier) constant, nous avons utilisé un superplastifiant pour produire des bétons avec fumées de silice dont l'affaissement était le même que celui du béton de contrôle (75 ± 5 mm).

2. MATERIAUX UTILISES

On trouvera dans le tableau 3 la composition chimique du ciment, du laitier et des fumées de silice utilisés. Dans le tableau 4 nous avons reporté les caractéristiques physiques des matériaux utilisés. Les figures 4, 5 et 6 représentent les courbes granulométriques du granulat fin et du gros granulat.

3. RESULTATS OBTENUS

On trouvera en annexe la composition détaillée des bétons dans les tableaux A-1, A-2 et A-3, ainsi que les caractéristiques des bétons frais et durcis dans les tableaux A-4, A-5 et A-6.

4. ANALYSE DES RESULTATS

4.1 Propriétés du béton frais

4.1.1 Affaissement

L'affaissement des bétons de contrôle a été ajusté à 75 ± 5 mm pour chacun des 3 rapports eau/(ciment + laitier) de 0,65, 0,50 et 0,40. L'affaissement des bétons contenant des fumées de silice a été ajusté à 75 ± 5 mm à l'aide d'un superplastifiant afin de maintenir un rapport eau/(ciment + laitier) équivalent aux mélanges de contrôle.

L'affaissement des bétons de référence a été noté tel qu'il apparaissait afin de vérifier la demande en eau du laitier utilisé. Ainsi l'affaissement du béton de contrôle ayant un rapport eau/(ciment + laitier) de 0,65 est passé de 80 mm à 85 mm pour un béton de référence ayant un rapport eau/ciment de 0,65 tandis que celui des bétons de contrôle ayant un rapport eau/(ciment + laitier) de 0,50 et 0,40 est passé de 70 à 75 mm. Donc la substitution de 50% (en masse) du ciment par du laitier a fait chûter légèrement l'affaissement du béton (de l'ordre de 5 mm).

Le laitier exige un peu plus d'eau que le ciment pour fournir un béton de même affaissement, ceci est peut être dû à la forme plus

angulaire des particules de laitier.

4.1.2 Température

La température de tous nos mélanges de béton a varié entre 19,5 et 23°C. Aucune variation significative de température n'a pu être associée à l'utilisation de laitier et des fumées de silice dans les bétons.

4.1.3 Teneur en air

Comme on peut le constater dans le tableau 5, l'utilisation du laitier et des fumées de silice n'a que peu ou pas d'effet sur la teneur en air des bétons. Ainsi la teneur en air de tous les bétons a varié entre 1,1 et 1,3%.

4.1.4 Masse volumique

Nous avons reporté dans la figure 7 la masse volumique des différents bétons étudiés en fonction du pourcentage de fumées de silice introduit. Ainsi nous observons que la masse volumique décroît lorsque le rapport eau/(ciment + laitier) croît. En outre, plus on ajoute de fumées de silice, plus la masse volumique du béton diminue. Cette décroissance de la masse volumique associée à l'utilisation de fumées de silice est due au fait que l'on a substitué un volume donné de sable ayant une densité de 2,65 par un volume équivalent de fumées de silice ayant une densité de 2,23.

4.1.5 Quantité de superplastifiant

La figure 8 présente le dosage en superplastifiant nécessaire pour maintenir un affaissement constant en fonction du pourcentage de fumées de silice ajouté au mélange de contrôle. Tandis que la figure 9 présente le dosage en superplastifiant en fonction de la masse de laitier et de fumées de silice dans le mélange. Nous constatons que le dosage en superplastifiant croît lorsque le dosage en fumées de silice croît et lorsque le rapport eau/(ciment + laitier) décroît.

4.2 Propriétés du béton durci

4.2.1 Masse volumique du béton durci

La masse volumique du béton durci mesurée lors du démoulage est légèrement supérieure, de 5 à 35 kg/m^3 (0,2 à 1,5%) à celle du béton frais. Cependant la masse volumique du béton durci des différents mélanges étudiés varie dans le même sens que celle du béton frais.

4.2.2 Résistance en compression

Nous avons reporté dans les figures 10, 11 et 12 la résistance en compression des différentes séries de béton en fonction de la durée du mûrissement.

Dans la figure 13 on trouvera le nombre de jours nécessaires pour que les bétons contenant du laitier et des fumées de silice développent une résistance en compression égale à celle du mélange de

référence qui ne contient que du ciment. En examinant ces différentes figures, nous pouvons constater que:

1°) les bétons de contrôle développent une résistance en compression à court terme (1, 3 et 7 d) nettement inférieure à celle des bétons de référence, par contre l'écart semble s'amenuiser après 28 d. Nous pouvons noter qu'à 56 d la résistance en compression des bétons de référence et des bétons de contrôle de rapport E/C + L égal à 0,50 et 0,40 sont pratiquement les mêmes.

2°) les bétons contenant des fumées de silice développent eux aussi une résistance en compression à court terme inférieure à celle des bétons de référence. Mais après 28 d de mûrissement, tous les bétons aux fumées de silice ont une résistance égale ou supérieure à celle du béton de référence.

3°) l'addition de fumées de silice permet d'augmenter la résistance en compression à tout âge d'un béton de contrôle.

Dans la figure 13 nous observons que:

1°) la durée nécessaire pour qu'un béton contenant 5% de fumées de silice développe une résistance en compression égale à celle du mélange de référence croît avec le rapport E/(C + L); ainsi les durées sont respectivement de 13, 20 et 44 jours pour des rapports E/(C + L) de 0,40, 0,50 et 0,65.

2°) la durée nécessaire pour qu'un béton contenant 10% de fumées de silice développe une résistance en compression égale à celle du béton de référence varie beaucoup moins en fonction du rapport E/(C + L): ainsi les durées sont respectivement de 9, 11 et 15 jours pour des rapports E/(C + L) de 0,40, 0,50 et 0,65.

3°) la durée nécessaire pour que des bétons contenant 15 et 20% de fumées de silice développent une résistance en compression égale à celle du béton de référence ne varie pratiquement pas en fonction du rapport E/(C + L). Il faut en effet attendre dans presque tous les cas environ 10 jours pour voir les bétons aux fumées de silice rattraper le béton de référence.

Donc l'addition de plus de 10% de fumées de silice n'apporte d'une part aucun gain de résistance en compression significatif au béton de contrôle et d'autre part ne réduit pas la durée nécessaire à l'obtention d'une résistance égale à celle du béton de référence. L'efficacité des fumées de silice croît lorsque le rapport E/(C + L) décroît pour des dosages inférieurs à 10%.

4.2.3 Résistance en flexion

Les figures 14, 15 et le tableau 6 présentent la résistance en flexion à 14 d et 28 d des différentes séries de béton. Nous remarquons que:

1°) c'est toujours le béton de contrôle qui a la plus faible résistance en flexion, aussi bien à 14 d qu'à 28 d.

2°) la résistance en flexion des bétons contenant des fumées de silice est supérieure à celle du béton de référence.

3°) lorsque le dosage en fumées de silice croît, les résistances en flexion croissent légèrement.

4°) toutes les résistances croissent lorsque le rapport E/(C + L) décroît.

4.2.4 Module d'élasticité

Nous avons reporté dans la figure 16 et dans le tableau 7 les modules d'élasticité à 28 d des différentes séries de béton. Avant de discuter des résultats, il est bon de rappeler que tous les bétons possédant un même rapport E/(C + L) ont été confectionnés avant de passer à une nouvelle série de rapport E/(C + L) différent. Ainsi nous observons que:

1°) le module d'élasticité du béton de référence décroît au fur et à mesure que le rapport eau/ciment augmente.

2°) le module d'élasticité des mélanges de contrôle est toujours supérieur à celui des mélanges de référence.

3°) le module d'élasticité maximum est obtenu pour les bétons contenant 10% de fumées de silice.

4°) le module d'élasticité des bétons contenant des fumées de silice est supérieur à celui du béton de référence, sauf pour 15 et 20 % de fumées de silice avec un rapport eau/(ciment + laitier) de 0,40.

Commentaire: Une investigation supplémentaire serait pertinente pour confirmer ces résultats.

4.2.5 Retrait au séchage des bétons

Les figures 17, 18 et 19 présentent le retrait au séchage du béton ayant respectivement des rapports eau/(ciment + laitier) de 0,65, 0,50 et 0,40 qui a été mûri 7 d dans l'eau, tandis que les figures 20, 21 et 22 présentent le retrait au séchage des mêmes bétons qui ont été mûris 28 d dans l'eau. De ces figures nous constatons que le retrait du béton varie peu en fonction du pourcentage de fumées de silice, c'est pourquoi nous avons calculé la moyenne des retraits des bétons contenant des fumées de silice, ce qui nous a permis de tracer les figures 23, 24 et 25 qui résument l'ensemble des résultats obtenus. En observant ces 3 dernières figures, nous constatons que:

1°) tous les bétons gonflent légèrement dans l'eau et ce d'autant plus que le rapport eau/(ciment + laitier) croît.

2°) le gonflement des bétons de contrôle est supérieur à celui des bétons de référence et également supérieur à celui des bétons contenant des fumées de silice.

3°) le gonflement des bétons contenant des fumées de silice est légèrement supérieur à celui des bétons de référence.

4°) le retrait total (gonflement plus retrait) de tous les bétons exposés à l'air, après 7 d ou 28 d de mûrissement dans l'eau, croît lorsque le rapport eau/(ciment + laitier) décroît.

5°) le retrait total de tous les bétons ayant un même rapport E/(C + L) qui ont été mûris 7 d dans l'eau est pratiquement le même.

6°) dans le cas des bétons mûris 28 d dans l'eau, nous observons que les bétons de contrôle ont un retrait total inférieur à celui des autres bétons.

7°) le retrait de tous les bétons exposés à l'air après 7 d ou 28 d de mûrissement dans l'eau croît lorsque le rapport eau/(ciment + laitier) décroît.

5. CONCLUSION

Il est possible d'améliorer de façon notable la résistance en compression à 28 d de bétons fabriqués avec un mélange à part égale de ciment portland et de laitier de haut fourneau en ajoutant une assez faible quantité de fumées de silice. Il ne semble pas intéressant de dépasser un dosage en fumées de silice de 10%.

Nous avons pu en outre montrer qu'avec le laitier étudié, il fallait légèrement augmenter les dosages en eau des bétons de contrôle par rapport

aux bétons de référence. Nous observons également qu'au fur et à mesure que l'on ajoute des fumées de silice dans le mélange, nous devons utiliser des dosages croissants de superplastifiant pour arriver à obtenir un affaissement constant sans augmenter le dosage en eau.

L'action bénéfique des fumées de silice est d'autant plus rapide que le rapport E/(C + L) est faible. Il suffit en effet d'une dizaine de jours pour voir la résistance en compression d'un béton de rapport E/(C + L) égal à 0,4, fabriqué avec un tel liant ternaire dépasser celle du béton fabriqué avec uniquement du ciment portland alors qu'il faut attendre une trentaine de jours pour les bétons de rapport E/(C + L) égal à 0,65.

L'addition de fumées de silice augmente sensiblement la résistance en flexion des bétons. Le module d'élasticité des bétons contenant des fumées de silice est supérieur à celui des bétons de référence. L'addition d'une aussi faible quantité de fumées de silice ne modifie pas de façon drastique le retrait au séchage de bétons préalablement mûris 7 d ou 28 d dans l'eau. Les retraits observés sur les mélanges contenant du laitier et des fumées de silice étaient à peine légèrement supérieurs à ceux des bétons de référence quelque soit le rapport E/(C + L).

6. RECOMMANDATION

Nous suggérons d'utiliser entre 5 et 10% de fumées de silice pour augmenter la résistance à 28 d de béton fabriqués avec un liant contenant 50% de laitier.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1- Essais effectués sur les différents bétons

Tableau 2- Répartition de la charge de travail

Tableau 3- Analyse chimique des différents liants utilisés

Tableau 4- Caractéristiques physiques des matériaux

Tableau 5- Teneur en air des différents bétons

Tableau 6- Résistance en flexion des différents bétons

Tableau 7- Module d'élasticité à 28 d des différents bétons.

LISTE DES FIGURES

Figure 1- Différents liants étudiés

Figure 2- Différents rapport eau/(ciment + laitier) utilisés

Figure 3- Procédure de malaxage

Figure 4- Courbes granulométriques du granulat fin

Figure 5- Courbes granulométriques du gros granulat (pierres)

Figure 6- Courbe granulométrique du mélange (30% de 5 mm, 50% de 14 mm et 20% de 20 mm)

Figure 7- Variation de la masse volumique en fonction de la composition des bétons

Figure 8- Dosage en superplastifiant nécessaire pour maintenir un affaissement constant en fonction du pourcentage de fumées de silice ajoutées au mélange de contrôle

Figure 9- Dosage en superplastifiant nécessaire pour obtenir un affaissement constant (75 ± 5 mm) en fonction de la masse de laitier et de fumées de silice dans le mélange

Figure 10- Résistance en compression en fonction de l'âge du béton pour les mélanges ayant un rapport eau/(ciment + laitier) de 0,65

Figure 11- Résistance en compression en fonction de l'âge du béton pour les mélanges ayant un rapport eau/(ciment + laitier) de 0,50

Figure 12- Résistance en compression en fonction de l'âge du béton pour les mélanges ayant un rapport eau/(ciment + laitier) de 0,40

Figure 13- Durée nécessaire (en jours) pour que des bétons contenant des fumées de silice développent une résistance en compression équivalente à celle du mélange de référence

Figure 14- Résistance en flexion à 14 d des différents bétons

Figure 15- Résistance en flexion à 28 d des différents bétons

Figure 16- Module d'élasticité à 28 d des différents bétons

Figure 17- Retrait au séchage du béton ayant un rapport eau/(ciment + laitier) de 0,65 qui a été mûri 7 d dans l'eau

Figure 18- Retrait au séchage du béton ayant un rapport eau/(ciment + laitier) de 0,50 qui a été mûri 7 d dans l'eau

Figure 19- Retrait au séchage du béton ayant un rapport eau/(ciment + laitier) de 0,40 qui a été mûri 7 d dans l'eau.

Figure 20- Retrait au séchage du béton ayant un rapport eau/(ciment + laitier) de 0,65 qui a été mûri 28 d dans l'eau

Figure 21- Retrait au séchage du béton ayant un rapport eau/(ciment + laitier) de 0,50 qui a été mûri 28 d dans l'eau

Figure 22- Retrait au séchage du béton ayant un rapport eau/(ciment + laitier) de 0,40 qui a été mûri 28 d dans l'eau

Figure 23- Retrait au séchage du béton ayant un rapport eau/(ciment + laitier) de 0,65 qui a été mûri 7 et 28 d dans l'eau

Figure 24- Retrait au séchage du béton ayant un rapport eau/(ciment + laitier) de 0,50 qui a été mûri 7 et 28 d dans l'eau

Figure 25- Retrait au séchage du béton ayant un rapport eau/(ciment + laitier) de 0,40 qui a été mûri 7 et 28 d dans l'eau.

TYPE D'ESSAI		Jour des essais												
		1	3	7	11	14	21	28	32	35	42	56	91	180
Densité du béton durci (cyl. plastiques 100 x 200)		X												
Résistance en compression (cyl. plastiques 100 x 200)		X	X	X				X				X	X	X
Résistance en flexion (poutres 100 x 100 x 375)						X		X						
Module d'élasticité (cyl. acier 150 x 300)								X						
(Poutres de retrait 100 x 100 x 375)	Eau	X	X	X	X	X	X			X			X	X
	(7d) Eau	X		X	X	X	X			X			X	X
	(28d) Eau	X						X	X	X	X	X	X	X

Tableau 1- Essais effectués sur les différents bétons.

Nombre de gâchées réalisées	18
Volume de béton utilisé	≈ 2,2 m^3
Nombre de cylindres 100 x 200 mm confectionnés	378
Nombre de cylindres 150 x 300 mm confectionnés	54
Nombre de poutres 100 x 100 x 375 mm confectionnées	216

Tableau 2- Répartition de la charge de travail.

Composantes	Ciment Type 10	Laitier	Fumées de silice
SiO_2	21,3	38,5	94,0
Al_2O_3	4,6	6,1	0,06
Fe_2O_3	2,9	0,7	0,03
CaO (total)	63,5	36,8	0,5
CaO (libre)	0,4	-	-
MgO	2,4	11,8	1,1
SO_3	2,9	3,2	0,5
Na_2O	0,11	0,02	0,02
K_2O	0,72	0,02	0,20
C	-	-	3,8
Perte au feu P.A.F.	1,6	0,16	2,5
Résidu insoluble R.I.	0,48	-	-

Tableau 3- Analyse chimique des différents liants utilisés.

Nature et provenance	Caractéristiques physiques
- Gros granulat: Calcaire métamorphique (Lime Ridge)	- absorption: 0,6 % - d_{SSS} : 2,69 - Masse volumique: 1595 kg/m^3 (20 % 20 mm - 50 % 14 mm - 30 % 5 mm)
- Sable naturel (Aimé Côté)	- absorption: 1,1 % - d_{SSS} : 2,65
- Laitier (Standard slag)	- d : 2,95
- Fumées de silice (SKW)	- d : 2,23 - demande en eau: 139 % - activité pouzzolanique: 81 %
- Ciment Type 10 (Lafarge)	- d : 3,14 - Blaine: 345 m^2/kg
- Superplastifiant (Mighty 150)	- d : 1,20 - 42 % de particules solides

Tableau 4- Caractéristiques physiques des matériaux.

Identification des mélanges	Teneur en air (%)		
	E/(C + L)= 0,65	E/(C + L)= 0,50	E/(C + L)= 0,40
Référence 100% ciment	1,3	1,2	1,2
Contrôle 50% C + 50% L	1,1	1,2	1,1
50% C + 50% L + 5% F S	1,2	1,2	1,3
50% C + 50% L + 10% F S	1,1	1,2	1,3
50% C + 50% L + 15% F S	1,3	1,3	1,3
50% C + 50% L + 20% F S	1,3	1,2	1,2

Tableau 5- Teneur en air des différents bétons.

Identification des mélanges	RESISTANCE EN FLEXION (MPa)					
	E/(C + L) = 0,65		E/(C + L) = 0,50		E/(C + L) = 0,40	
	14 d	28 d	14 d	28 d	14 d	28 d
Référence 100 % ciment	4,5	4,8	5,4	5,8	6,2	6,5
Contrôle 50 % C + 50 % L	2,8	4,7	4,6	5,7	5,6	6,8
50 % C + 50 % L + 5 % F S	3,9	5,2	5,4	6,6	5,8	6,8
50 % C + 50 % L + 10 % F S	4,6	5,5	5,6	6,6	6,7	7,9
50 % C + 50 % L + 15 % F S	4,8	5,9	5,8	6,8	6,9	7,9
50 % C + 50 % L + 20 % F S	5,1	6,2	6,3	7,1	7,1	8,0

Tableau 6- Résistance en flexion des différents bétons

Identification des mélanges	MODULE D'ELASTICITE A 28 d (GPa)		
	E/(C + L) = 0,65	E/(C + L) = 0,50	E/(C + L)= 0,40
Référence 100 % ciment	31,3	33,3	36,0
Contrôle 50% C + 50% L	32,6	34,1	36,3
50% C + 50% L + 5% F S	31,4	33,6	36,1
50% C + 50% L + 10% F S	32,8	34,4	36,9
50% C + 50% L + 15% F S	31,8	34,0	35,8
50% C + 50% L + 20% F S	31,3	33,8	34,9

Tableau 7- Module d'élasticité à 28 d des différents bétons

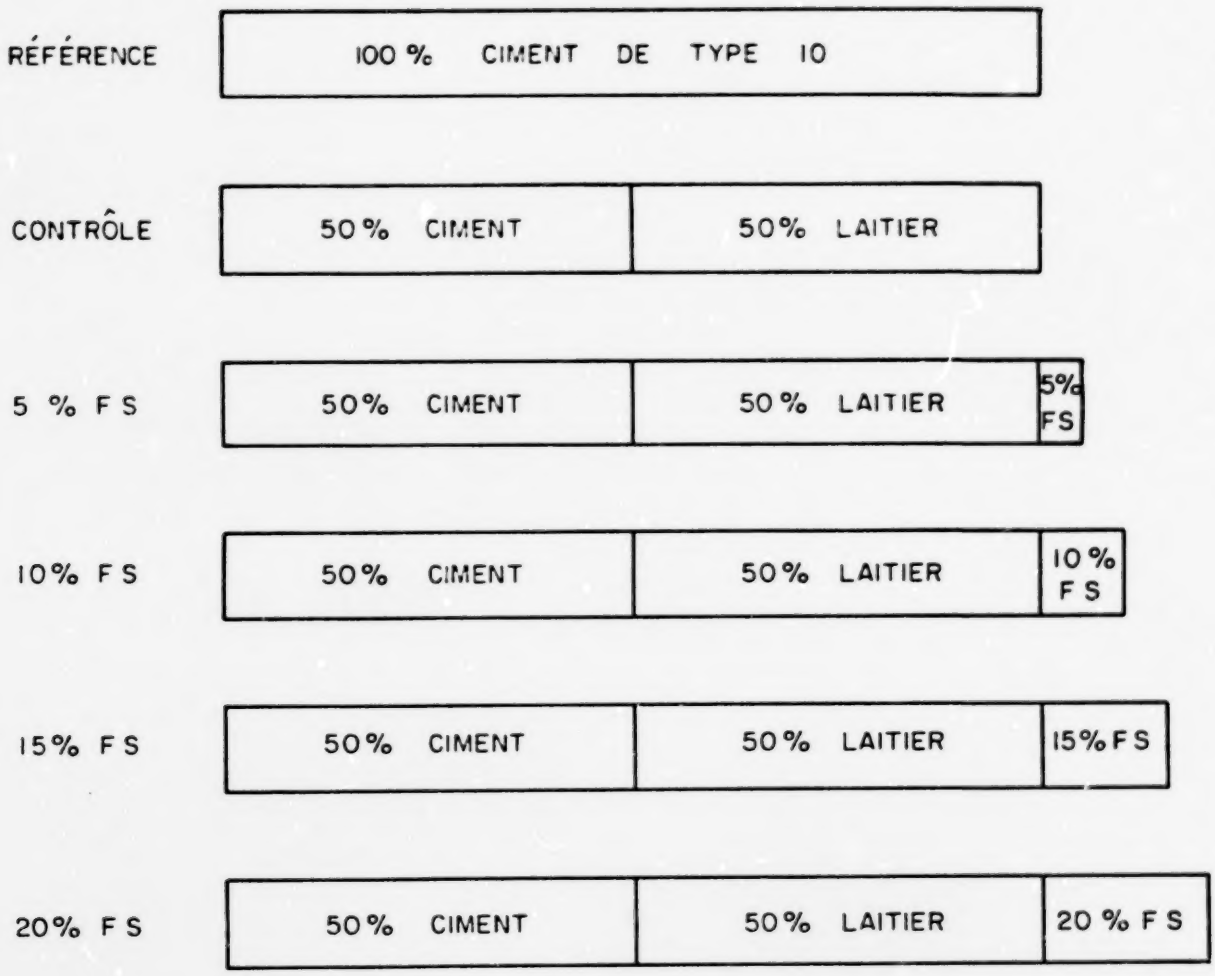

Figure 1 - Différents liants étudiés

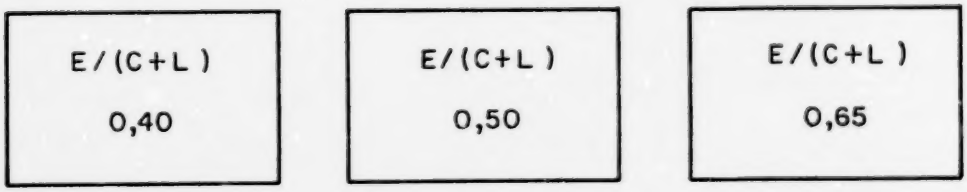

Figure 2- Différents rapports eau/(ciment + laitier) utilisés.

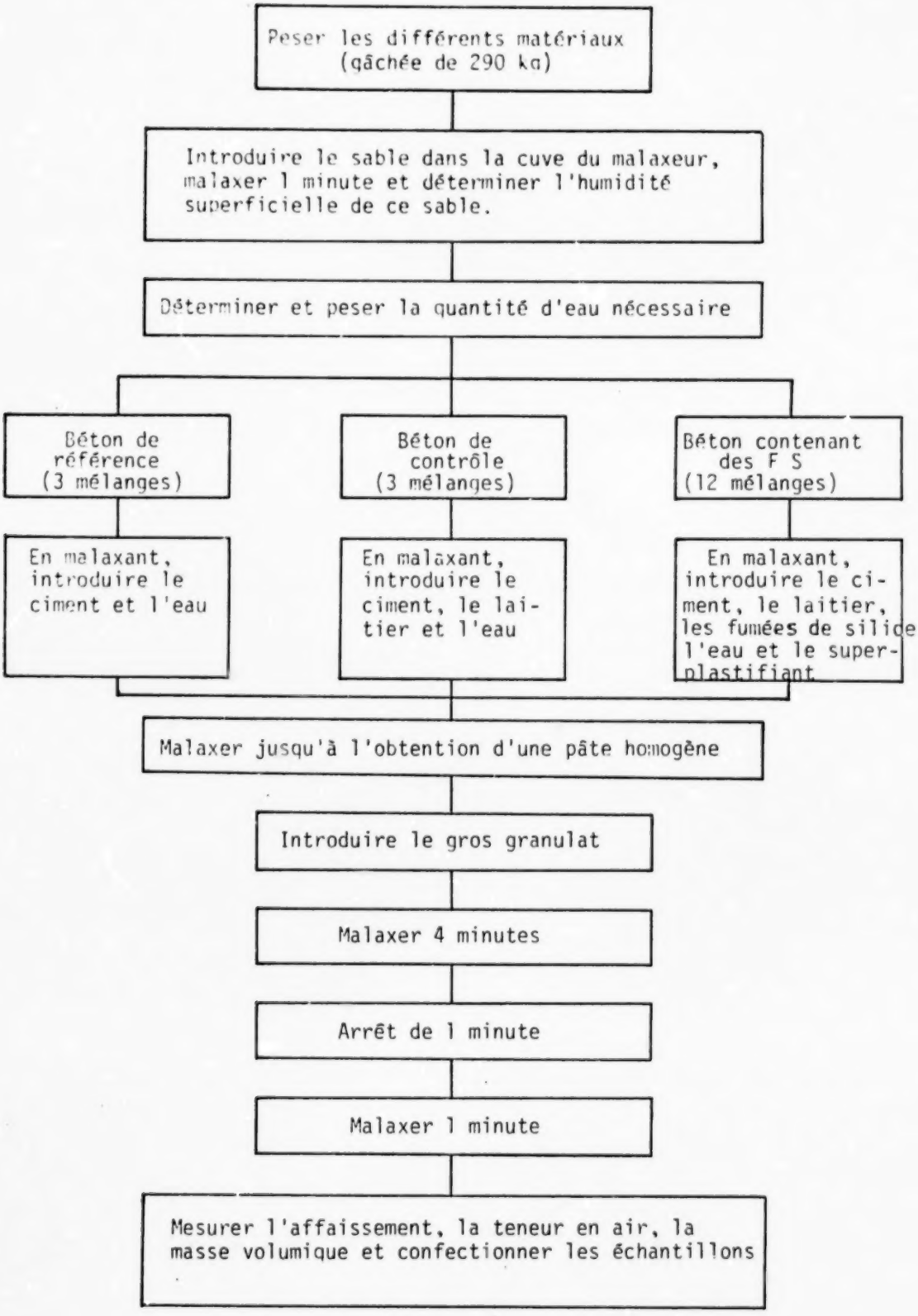

Figure 3- Procédure de malaxage

UNIVERSITE DE SHERBROOKE

LABORATOIRE DE MATERIAUX

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

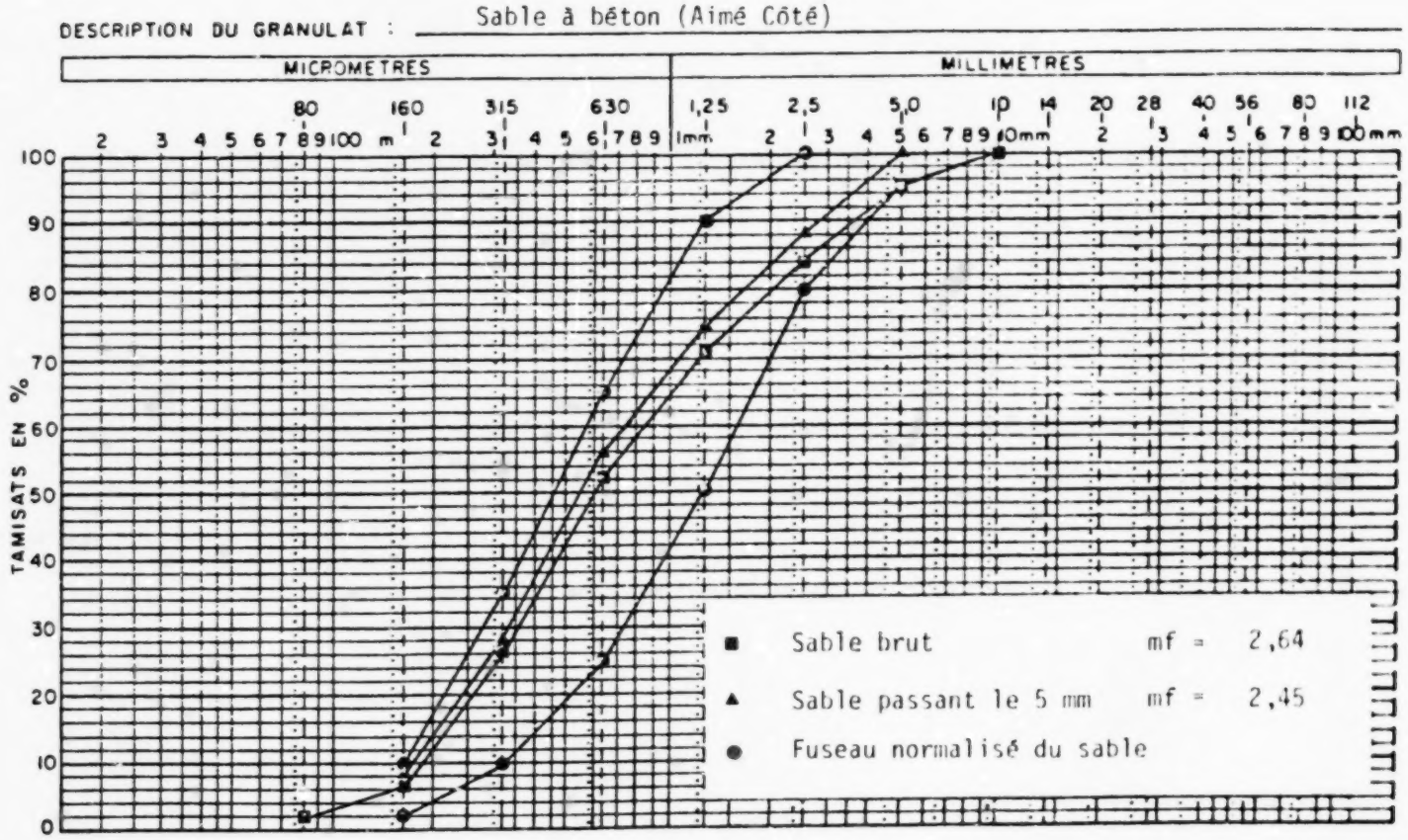

Figure 4- Courbes granulométriques du granulat fin.

UNIVERSITE DE SHERBROOKE

LABORATOIRE DE MATERIAUX

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

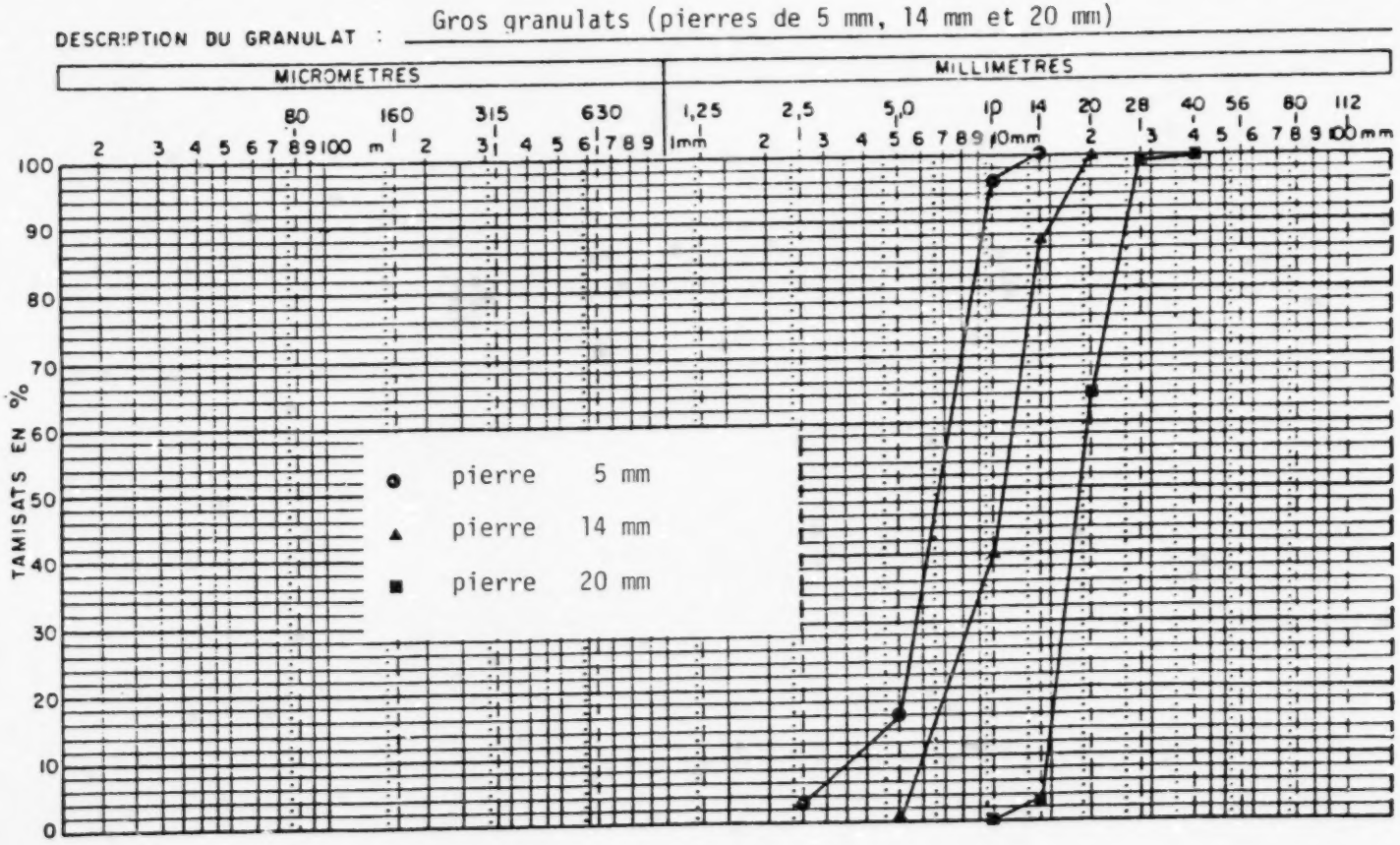

Figure 5- Courbes granulométriques du gros granulat (pierres)

UNIVERSITE DE SHERBROOKE

LABORATOIRE DE MATERIAUX

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

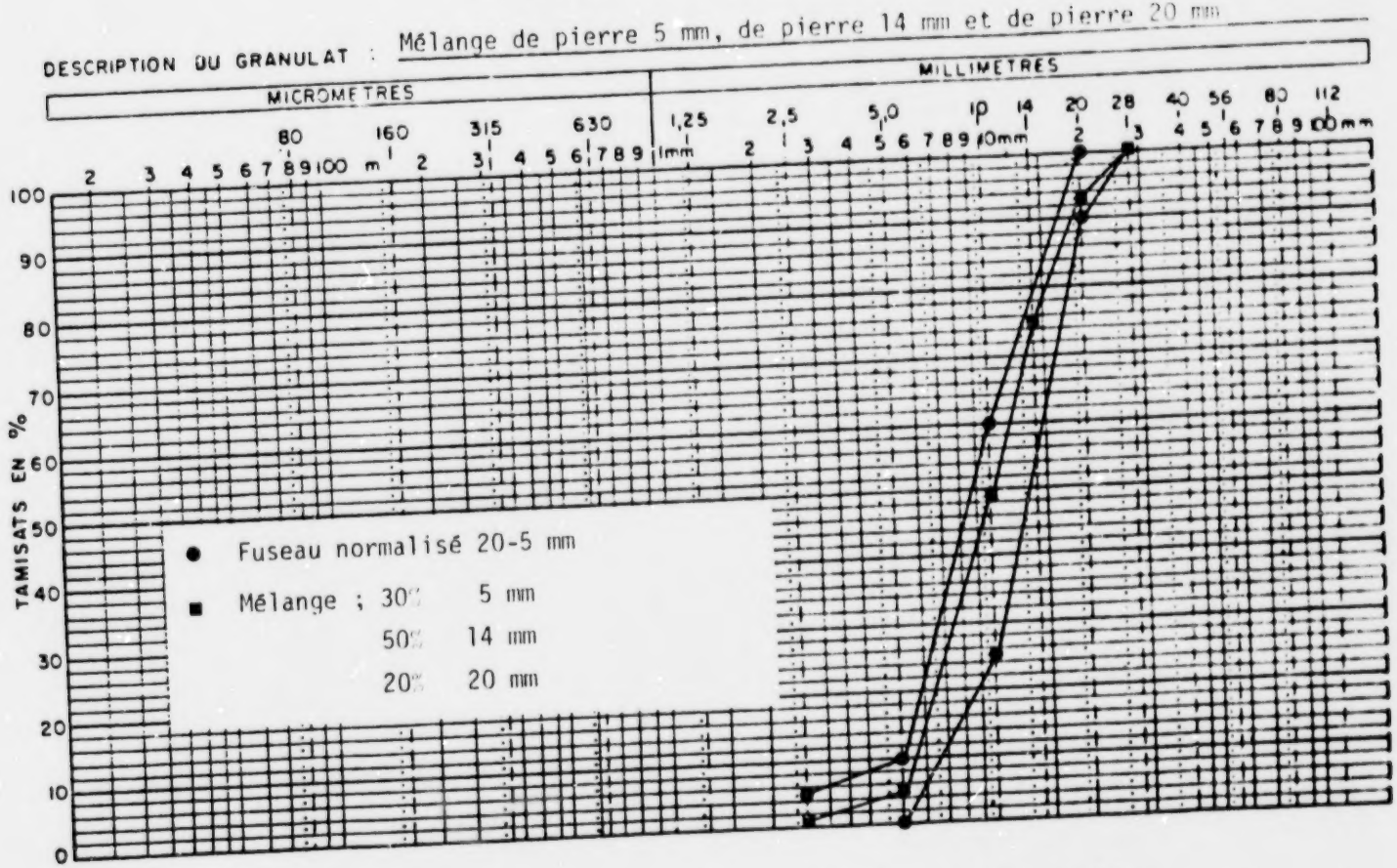

Figure 6 - Courbe granulométrique du mélange (30% de 5 mm, 50% de 14 mm et 20% de 20 mm)

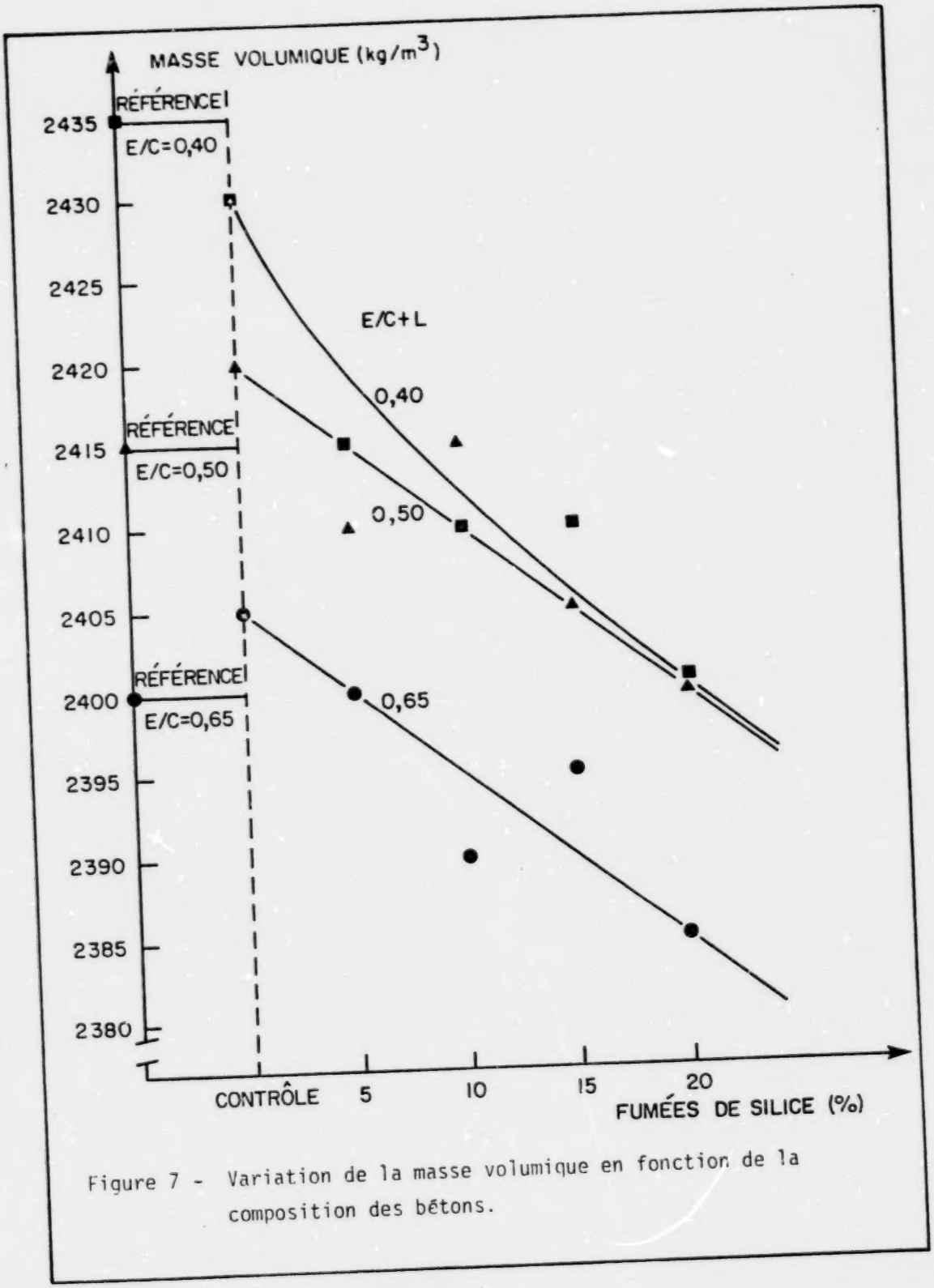

Figure 7 - Variation de la masse volumique en fonction de la composition des bétons.

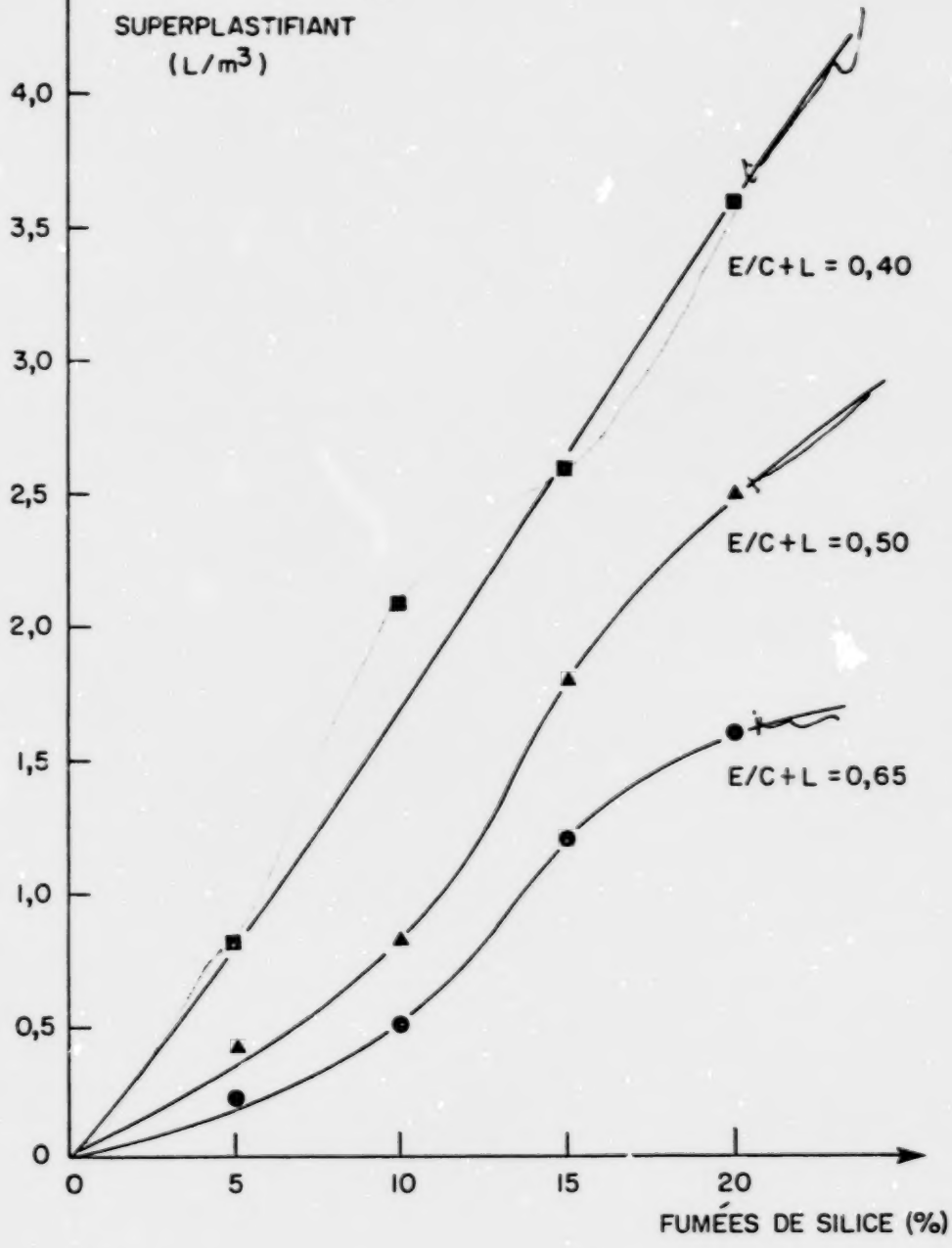

Figure 8 - Dosage en superplastifiant nécessaire pour maintenir un affaissement constant en fonction du pourcentage de fumées de silice ajoutées au mélange de contrôle.

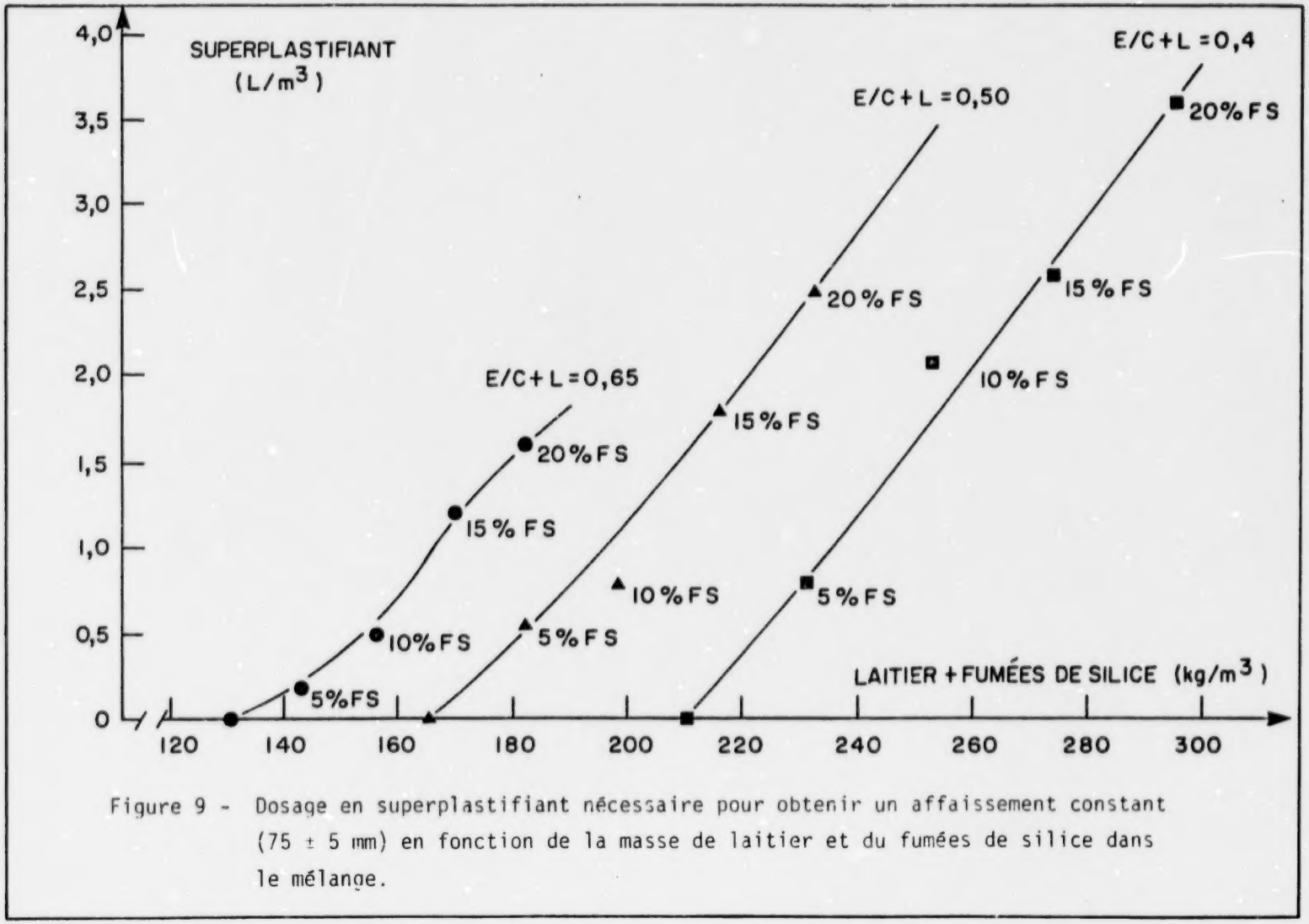

Figure 9 - Dosage en superplastifiant nécessaire pour obtenir un affaissement constant (75 ± 5 mm) en fonction de la masse de laitier et du fumées de silice dans le mélange.

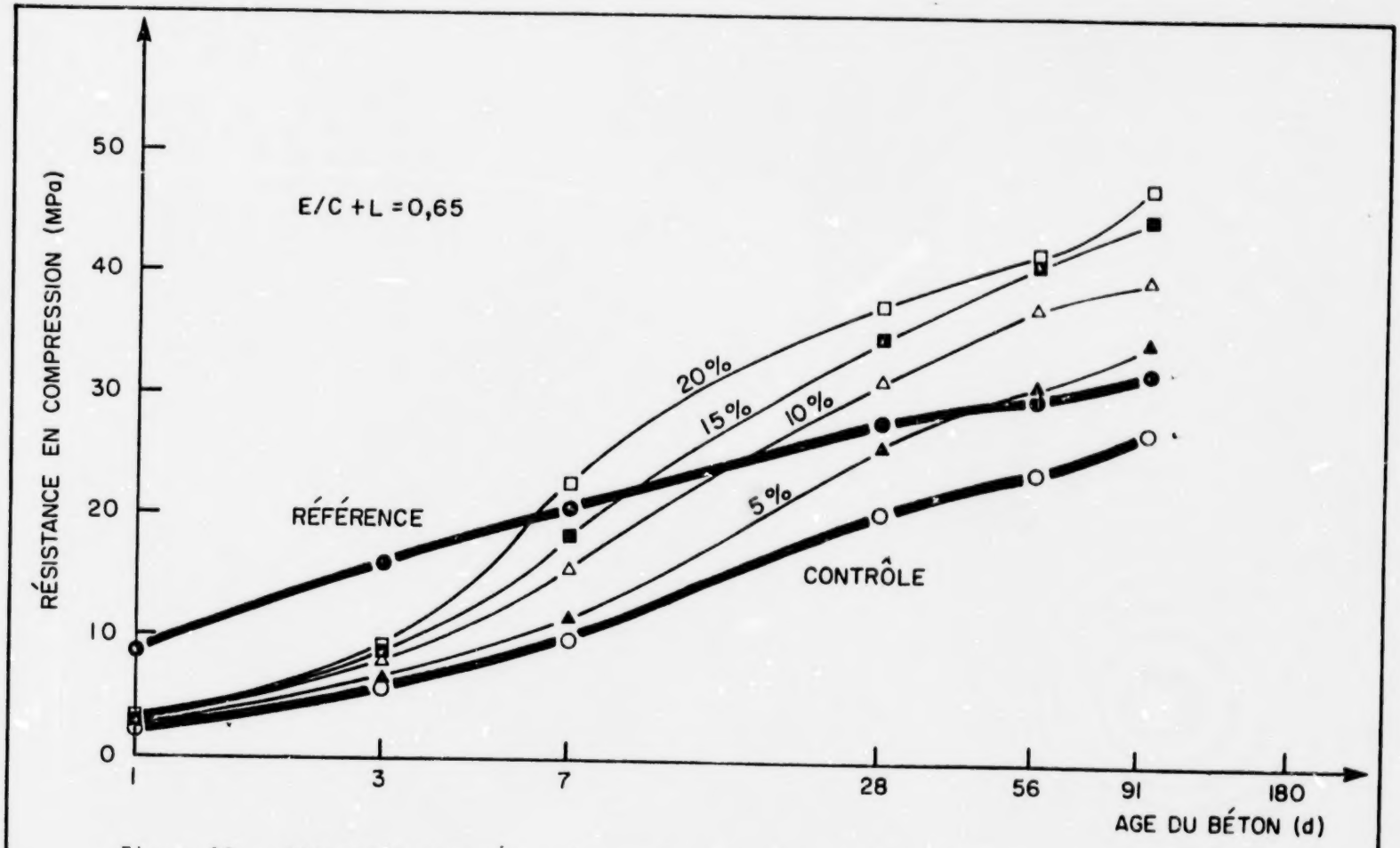

Figure 10 - Résistance en compression en fonction de l'âge du béton pour les mélanges ayant un rapport eau/(ciment + laitier) de 0,65.

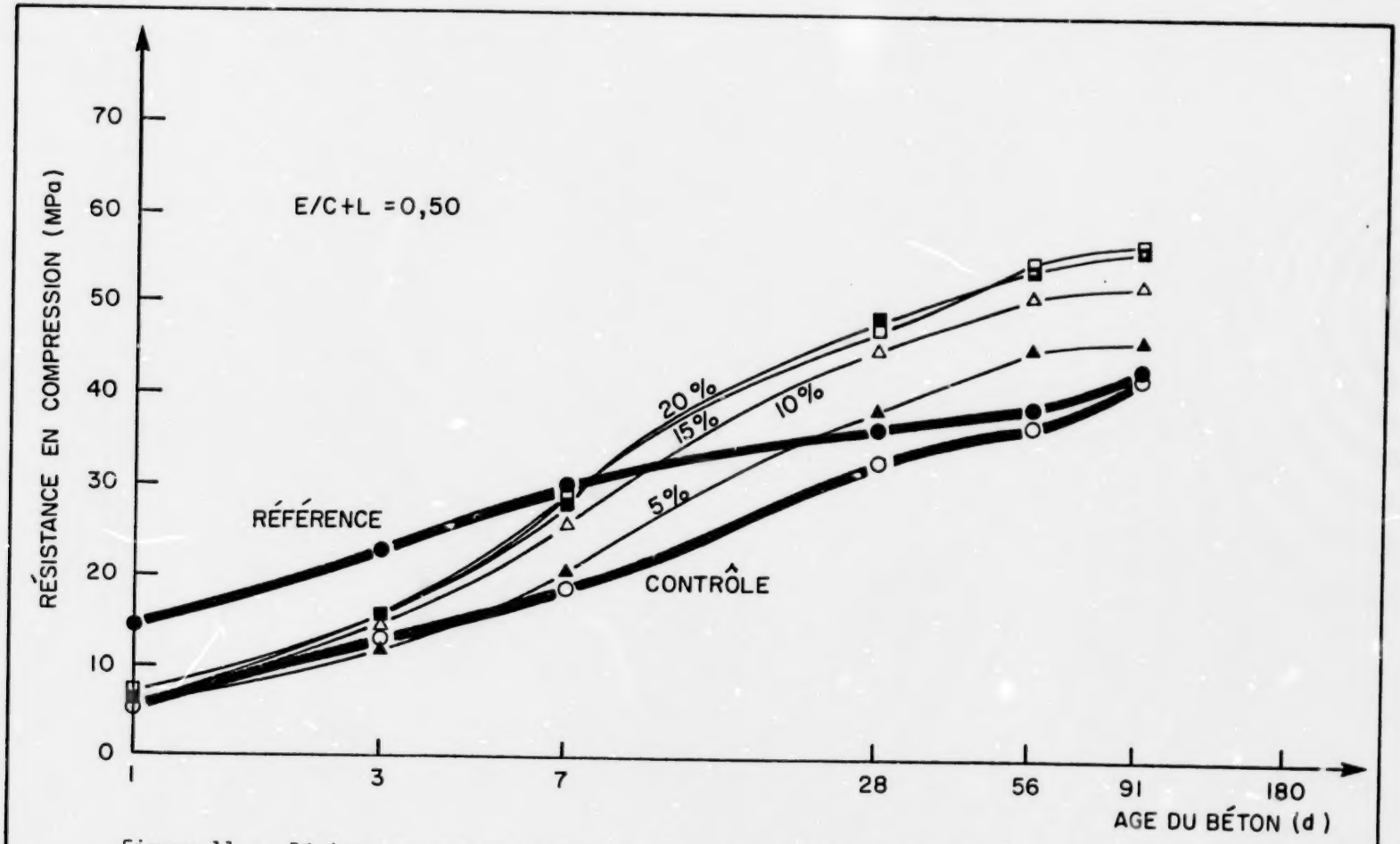

Figure 11 - Résistance en compression en fonction de l'âge du béton pour les mélanges ayant un rapport eau/(ciment + laitier) de 0,50.

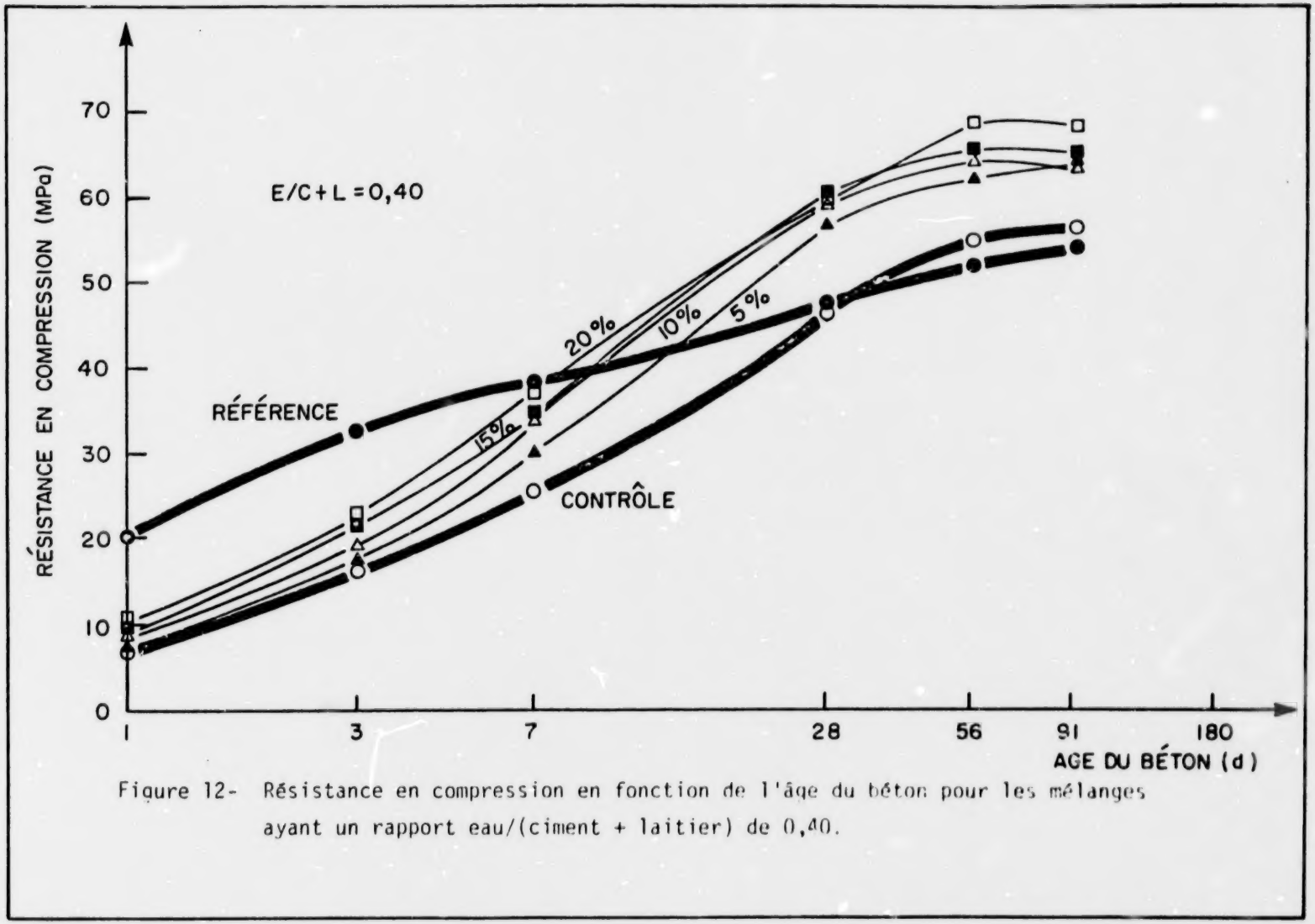

Figure 12- Résistance en compression en fonction de l'âge du béton pour les mélanges ayant un rapport eau/(ciment + laitier) de 0,40.

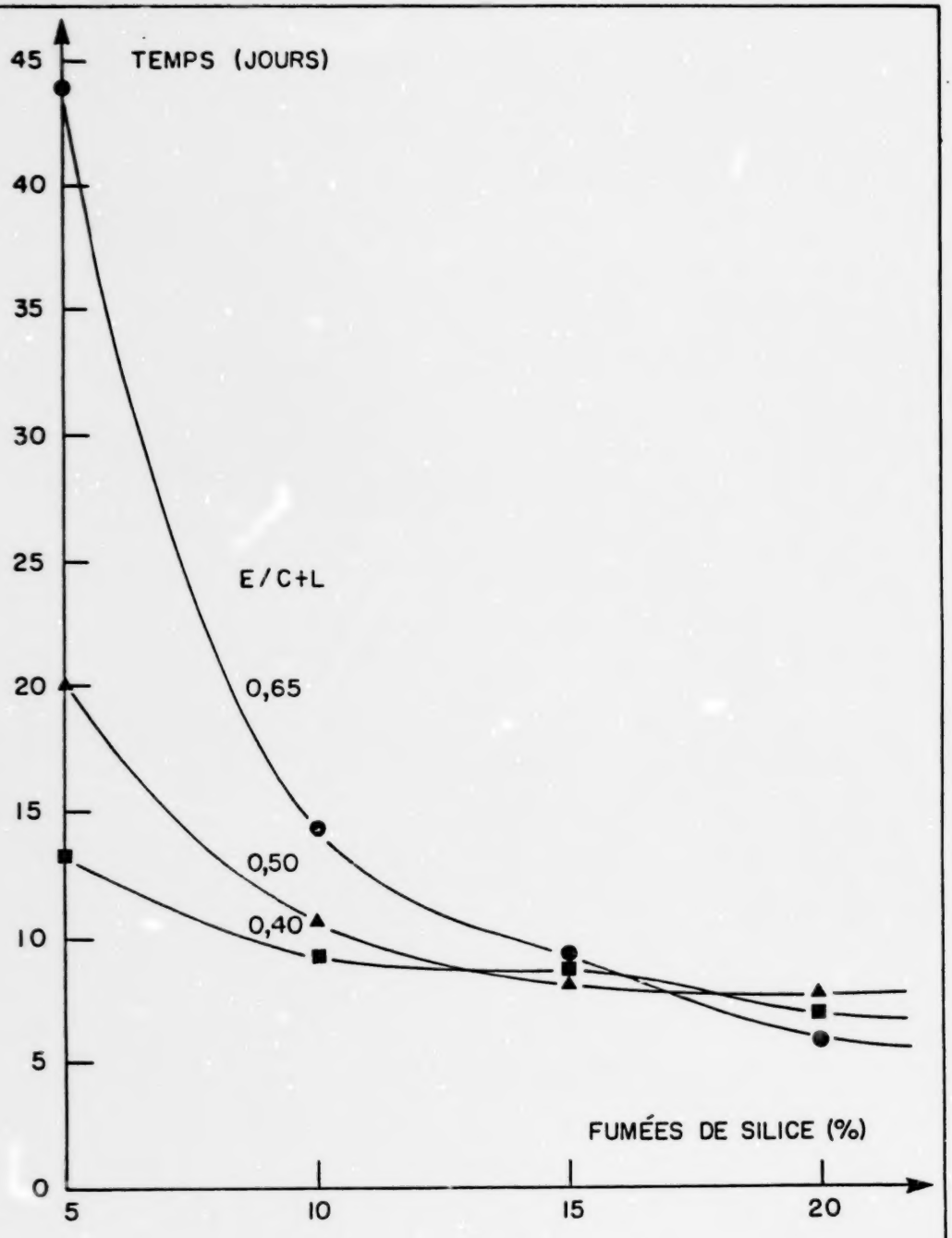

Figure 13- Durée nécessaire (en jours) pour que des bétons contenant des fumées de silice développent une résistance en compression équivalente à celle du mélange de référence.

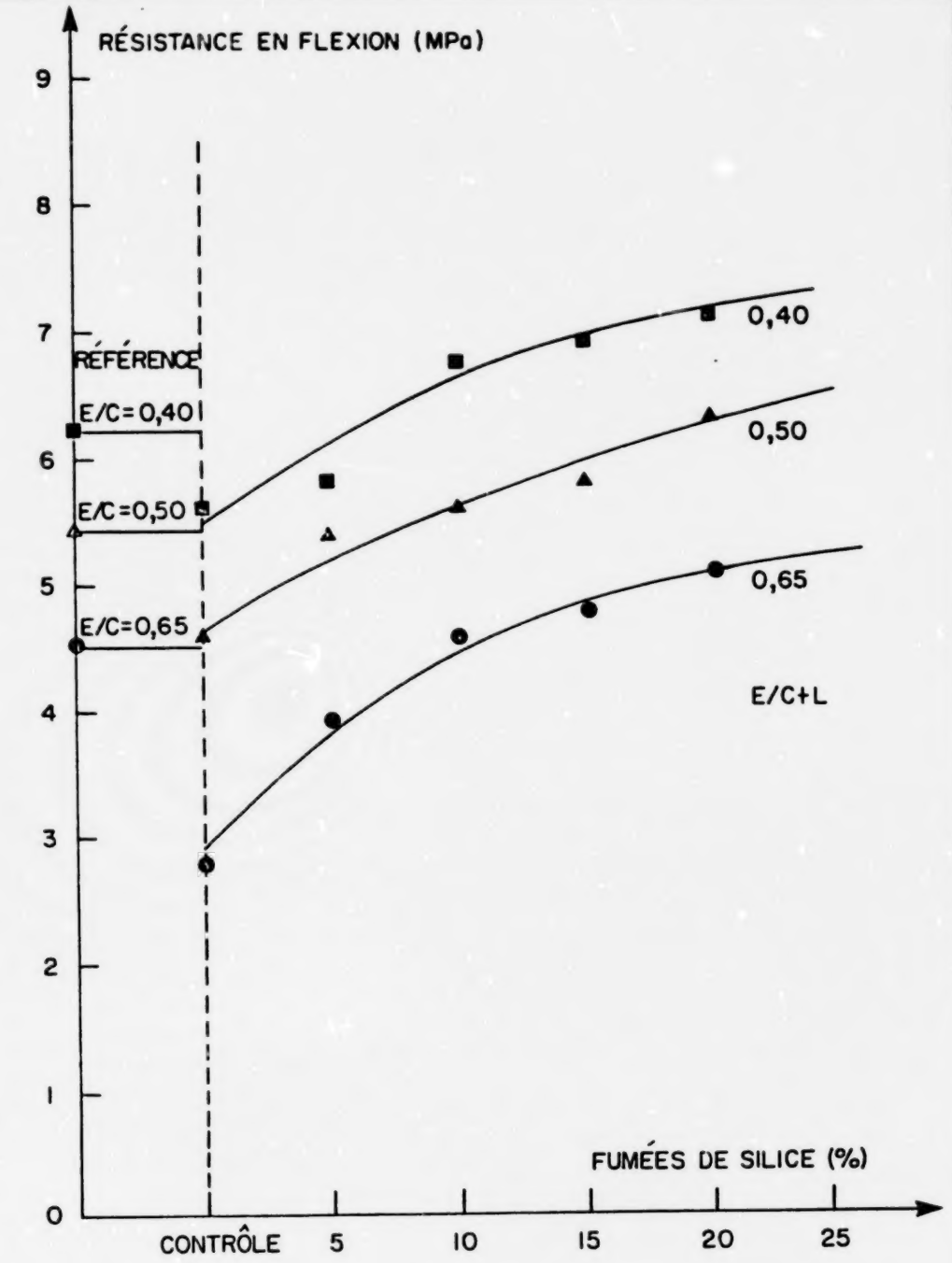

Figure 14- Résistance en flexion à 14 d des différents bétons.

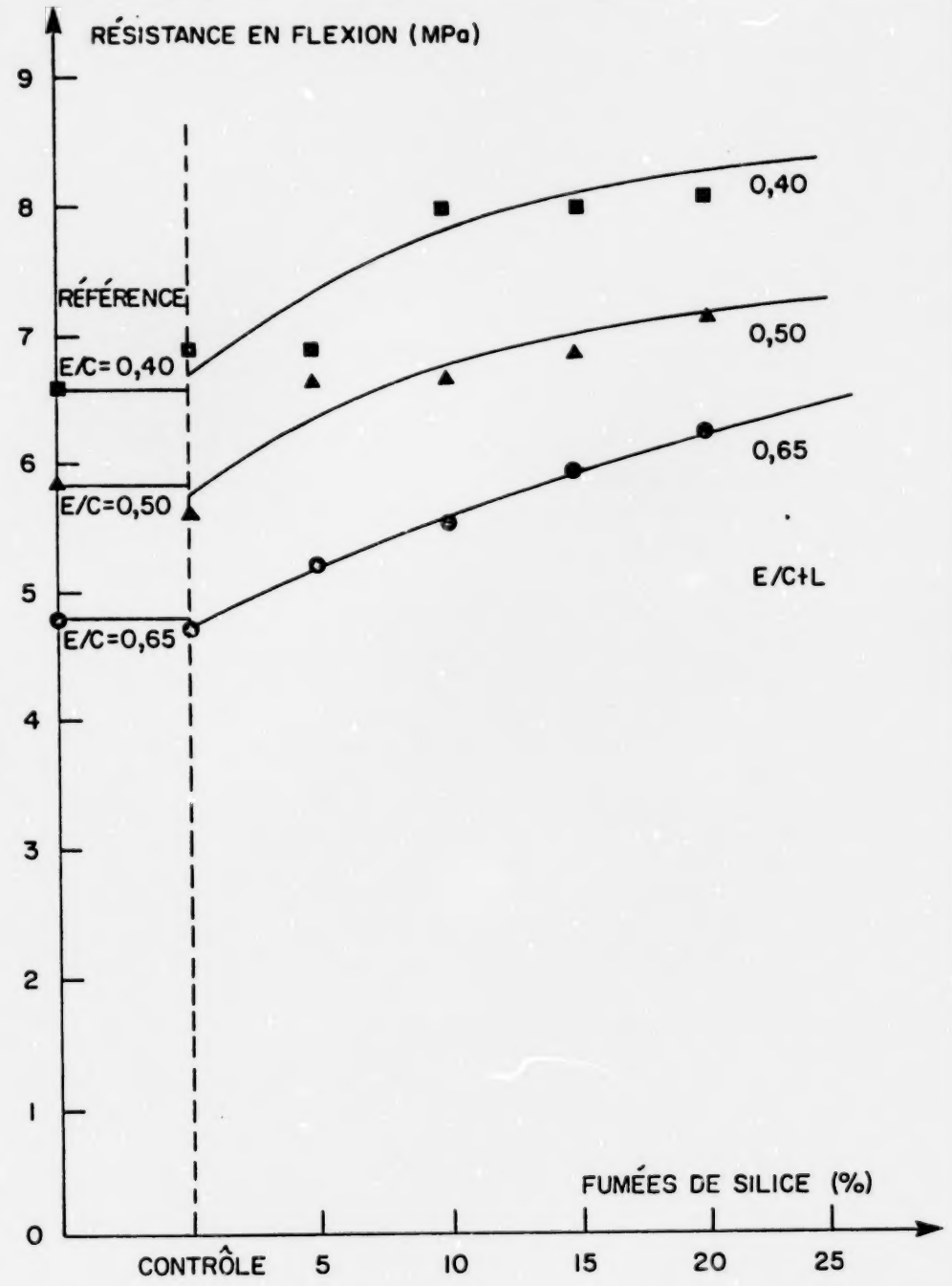

Figure 15- Résistance en flexion à 28 d des différents bétons.

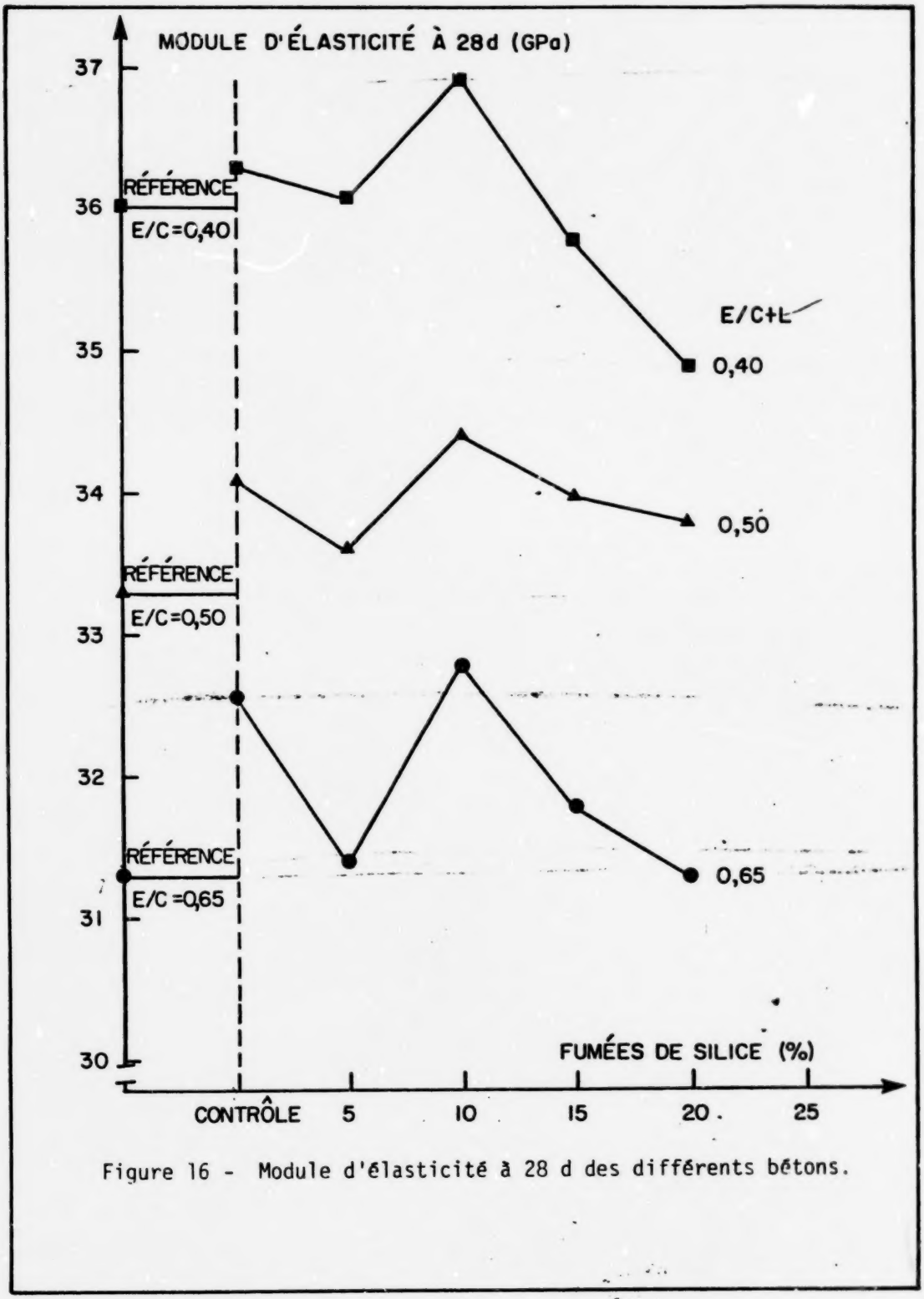

Figure 16 - Module d'élasticité à 28 d des différents bétons.

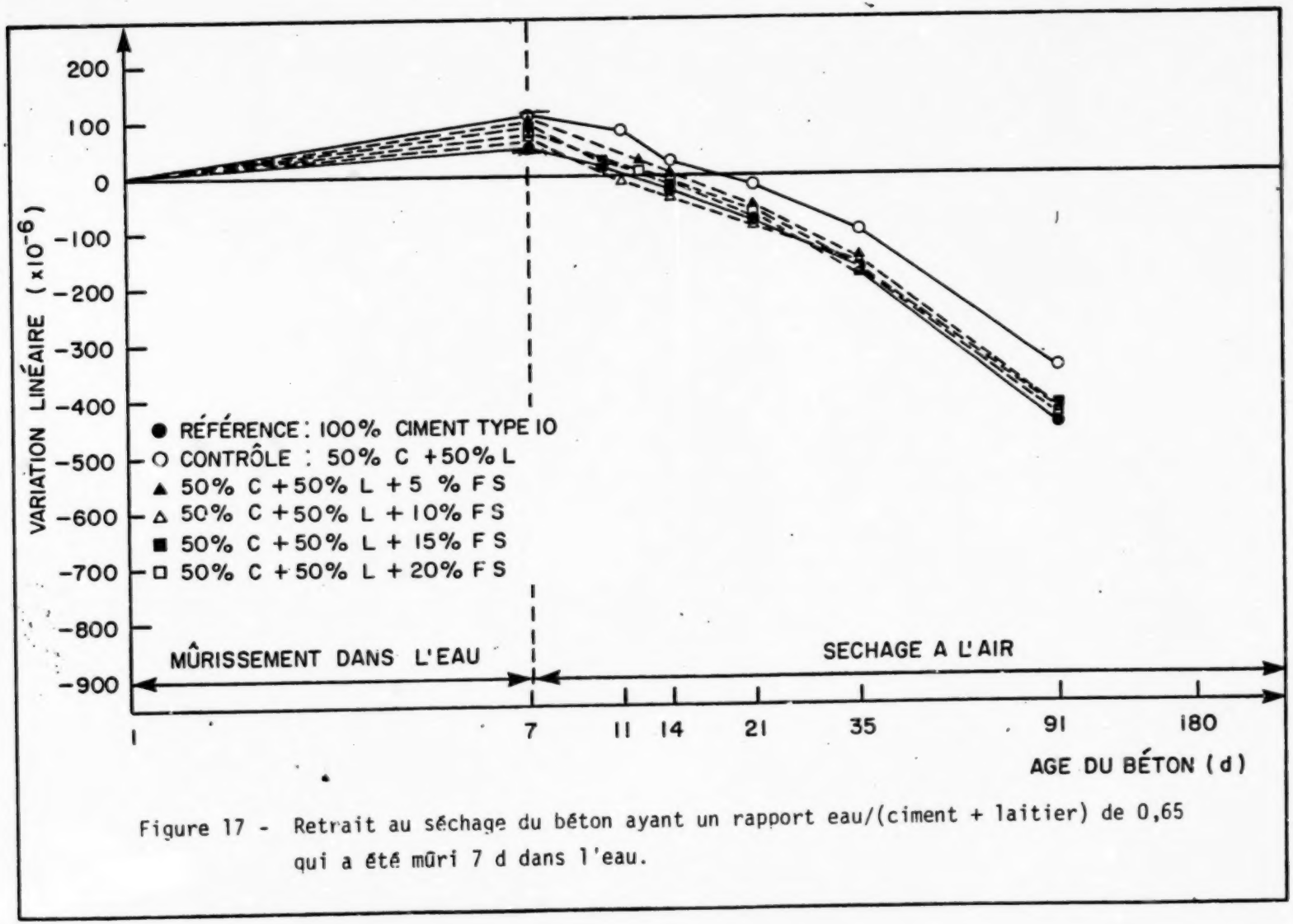

Figure 17 - Retrait au séchage du béton ayant un rapport eau/(ciment + laitier) de 0,65 qui a été mûri 7 d dans l'eau.

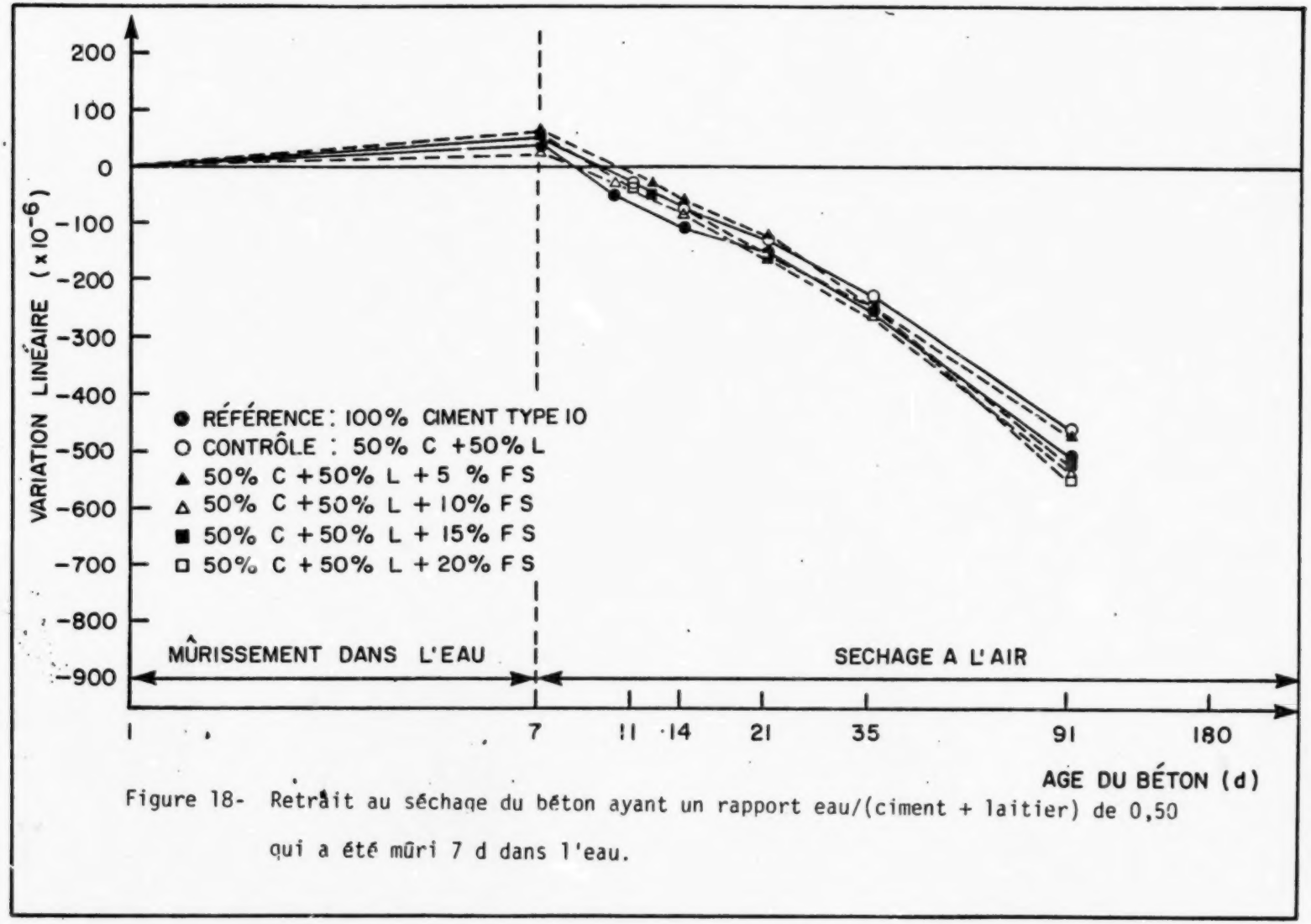

Figure 18- Retrait au séchage du béton ayant un rapport eau/(ciment + laitier) de 0,50 qui a été mûri 7 d dans l'eau.

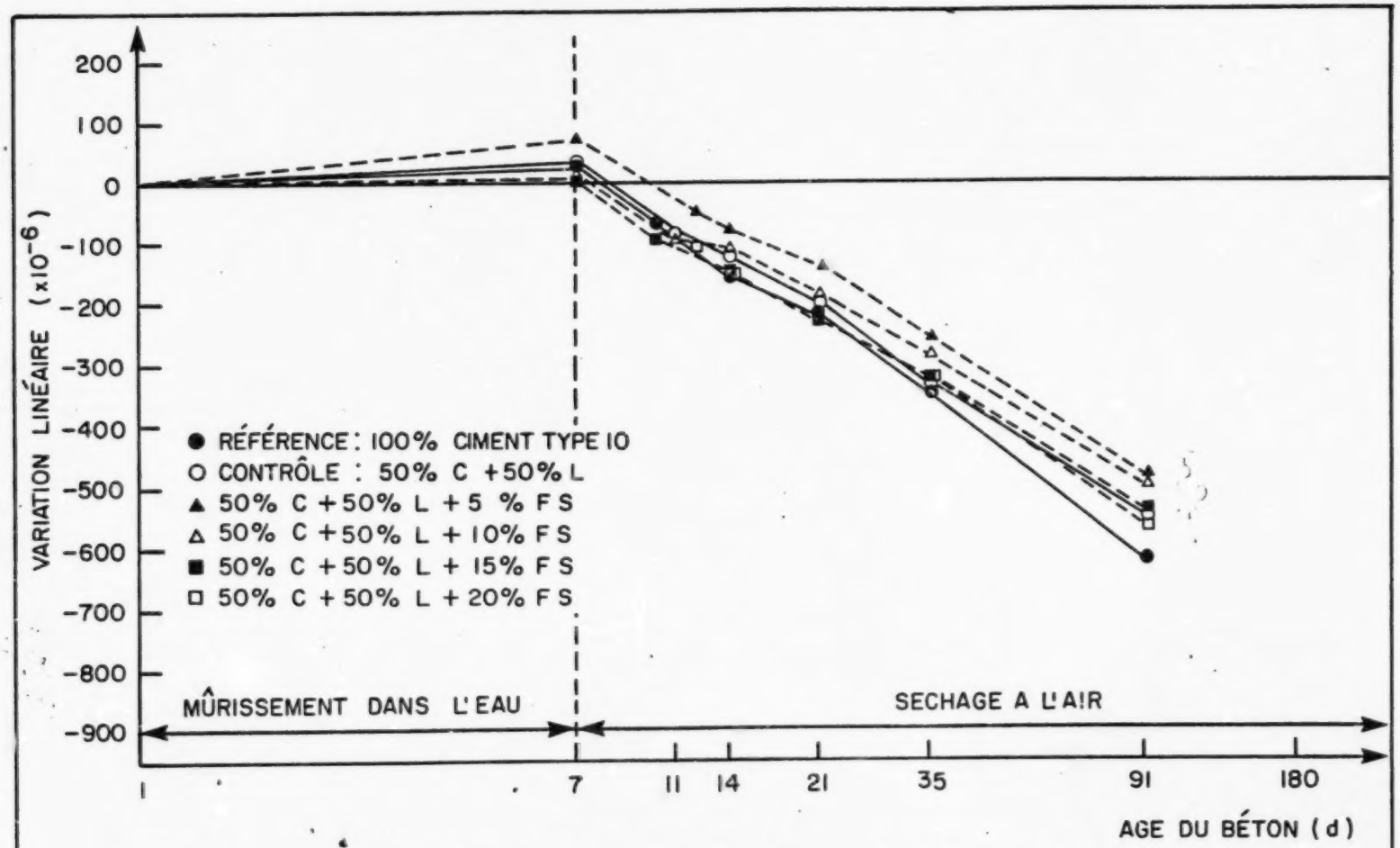

Figure 19 - Retrait au séchage du béton ayant un rapport eau/(ciment + laitier) de 0,40 qui a été mûri 7 d dans l'eau.

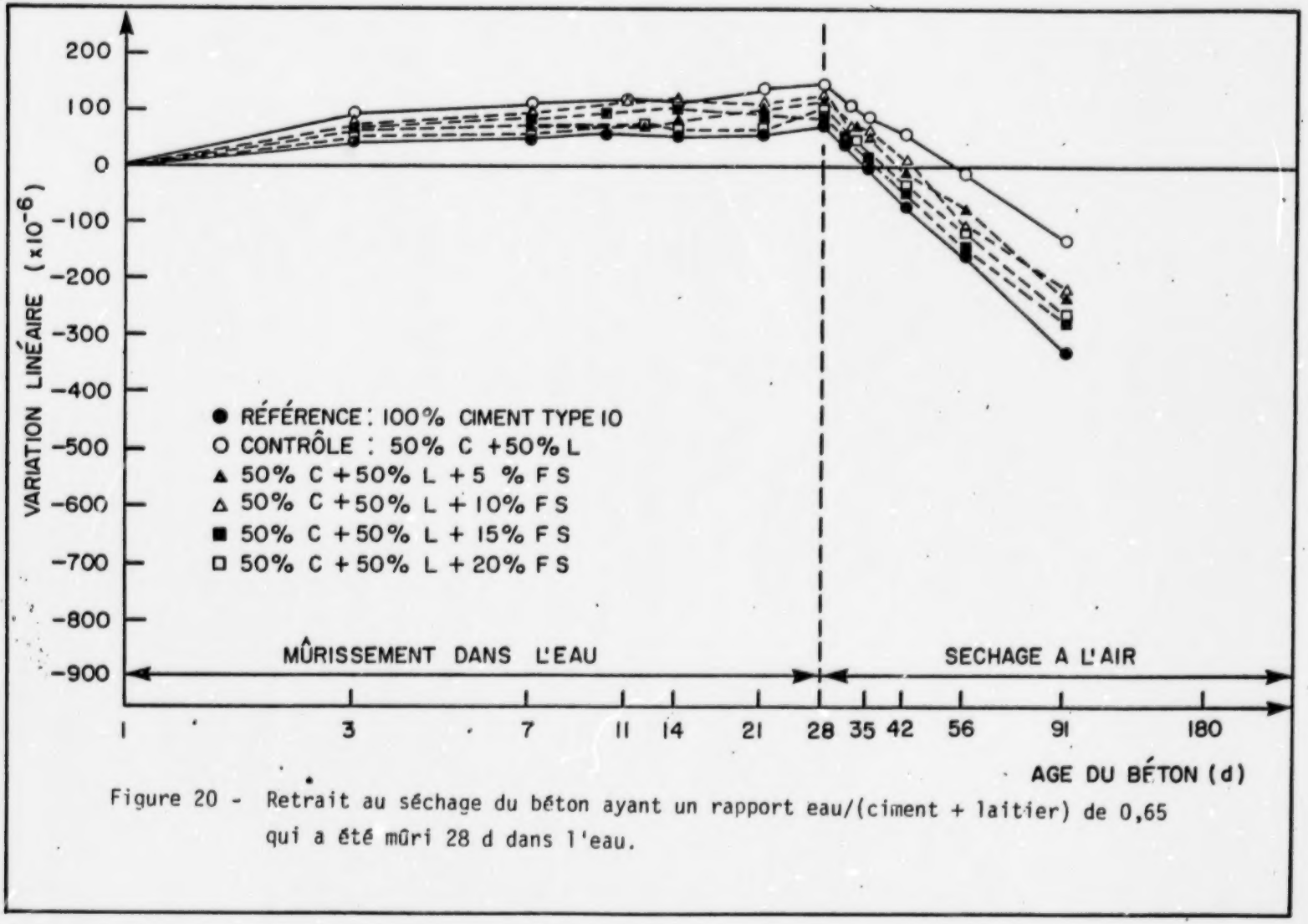

Figure 20 - Retrait au séchage du béton ayant un rapport eau/(ciment + laitier) de 0,65 qui a été mûri 28 d dans l'eau.

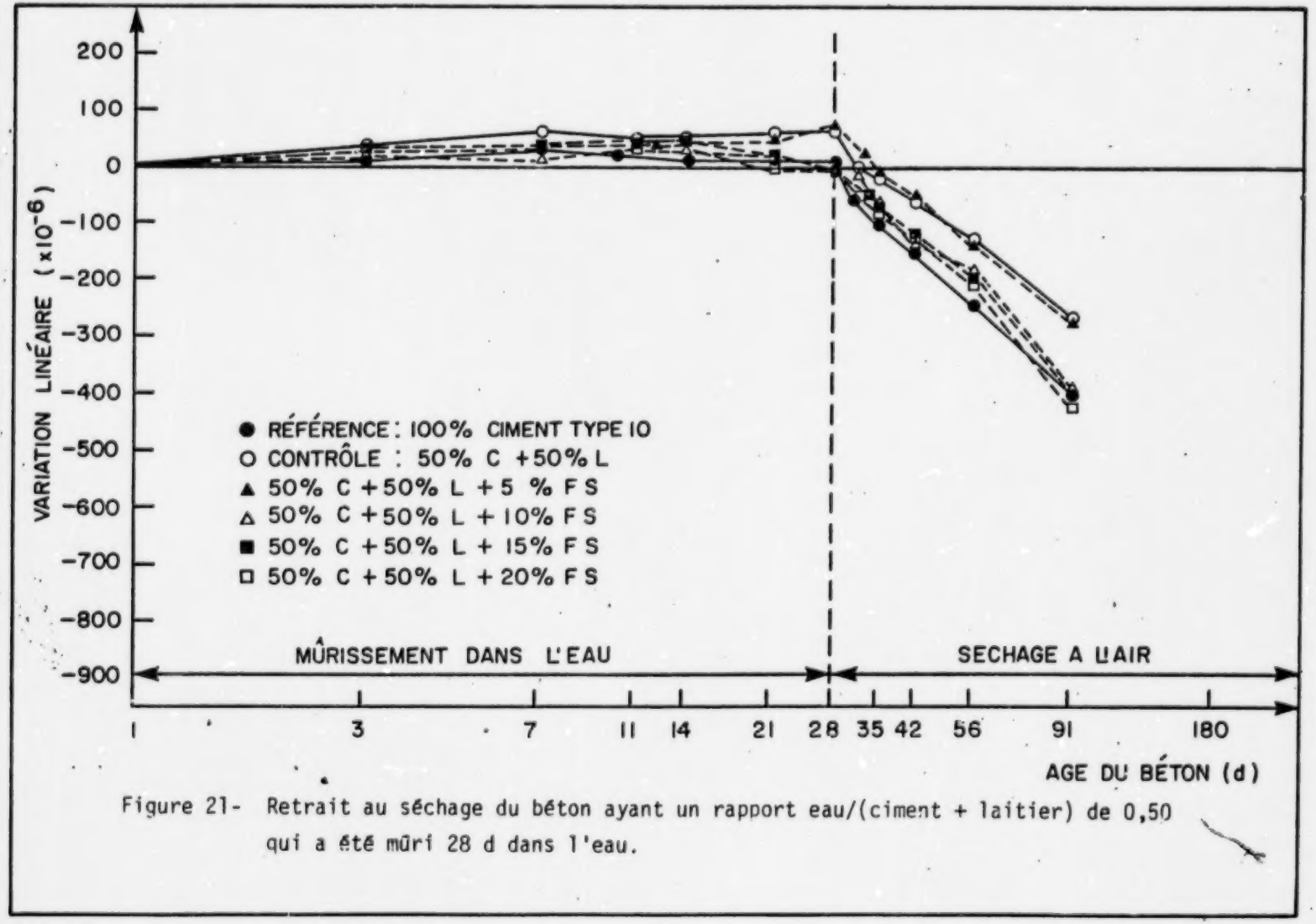

Figure 21- Retrait au séchage du béton ayant un rapport eau/(ciment + laitier) de 0,50 qui a été mûri 28 d dans l'eau.

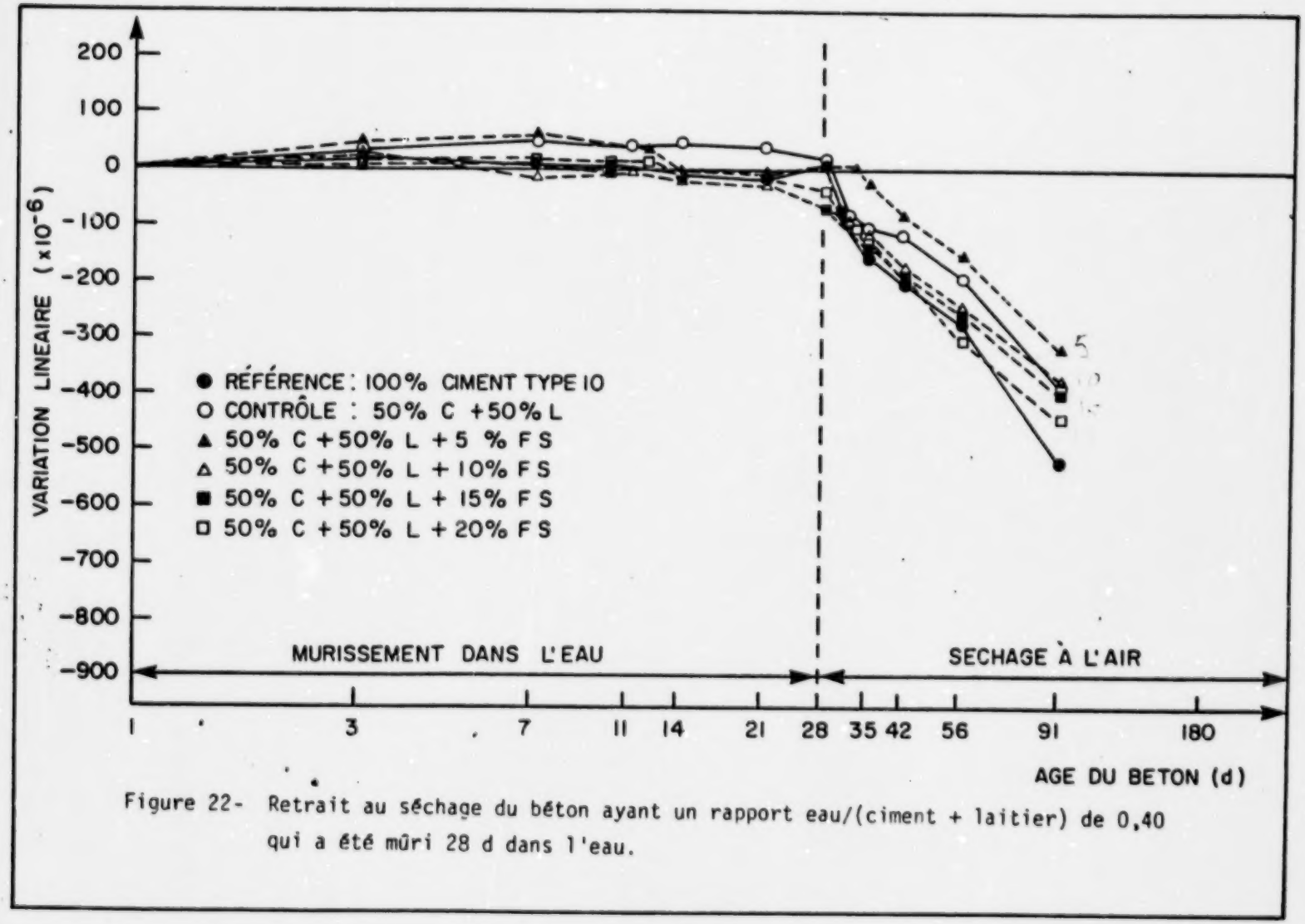

Figure 22- Retrait au séchage du béton ayant un rapport eau/(ciment + laitier) de 0,40 qui a été mûri 28 d dans l'eau.

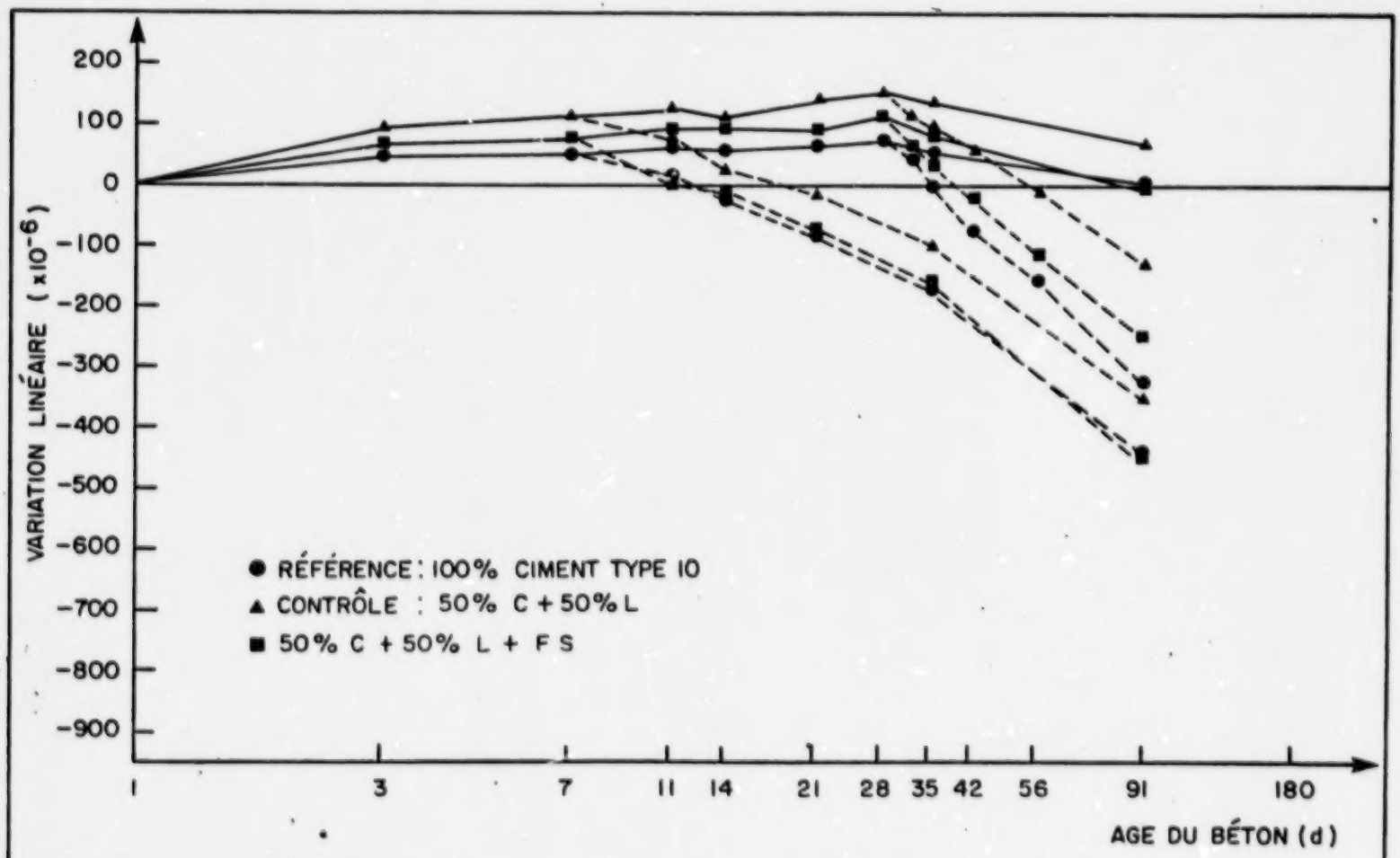

Figure 23 - Retrait au séchage du béton ayant un rapport eau/(ciment + laitier) de 0,65 qui a été mûri 7 et 28 d dans l'eau.

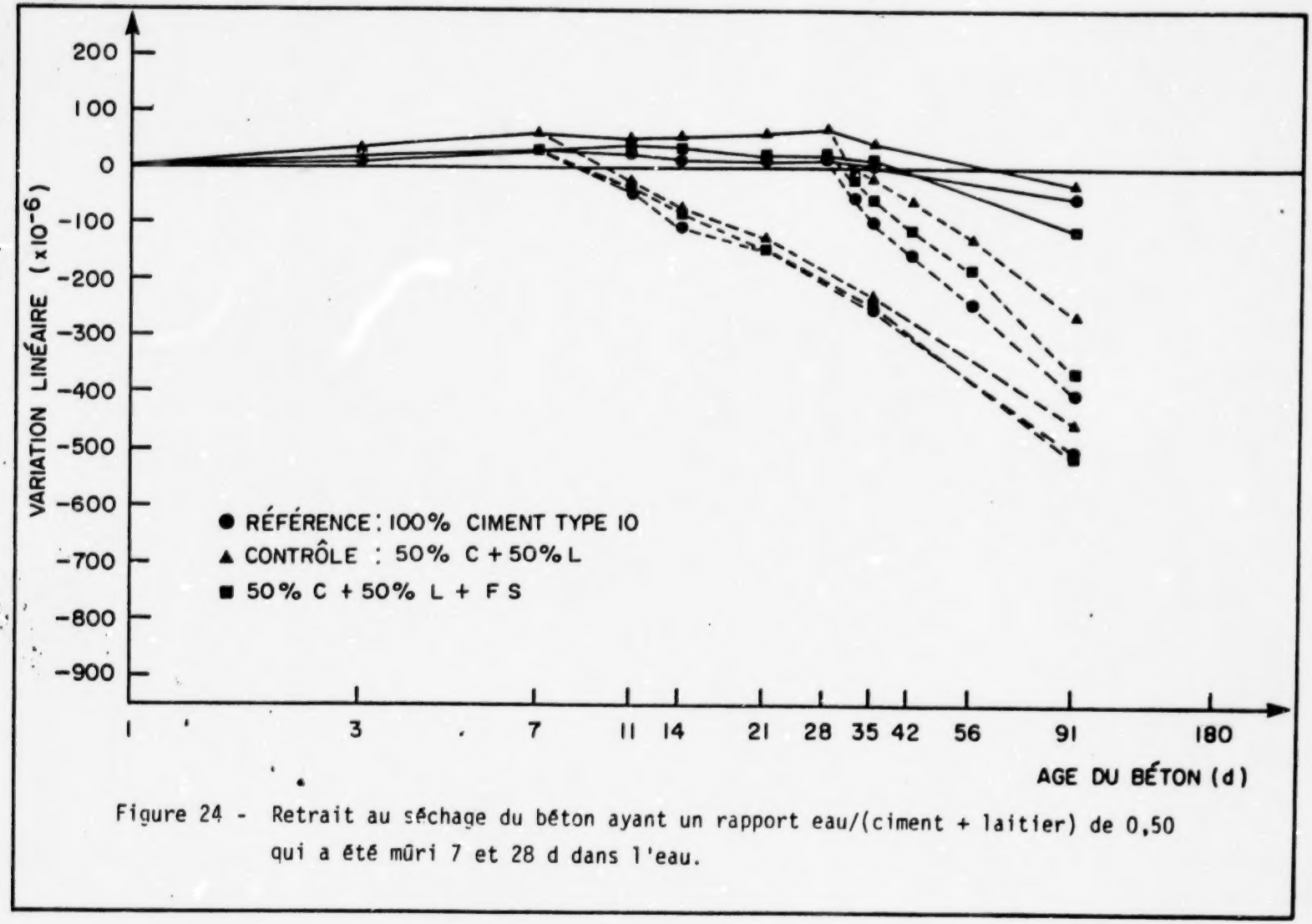

Figure 24 - Retrait au séchage du béton ayant un rapport eau/(ciment + laitier) de 0,50 qui a été mûri 7 et 28 d dans l'eau.

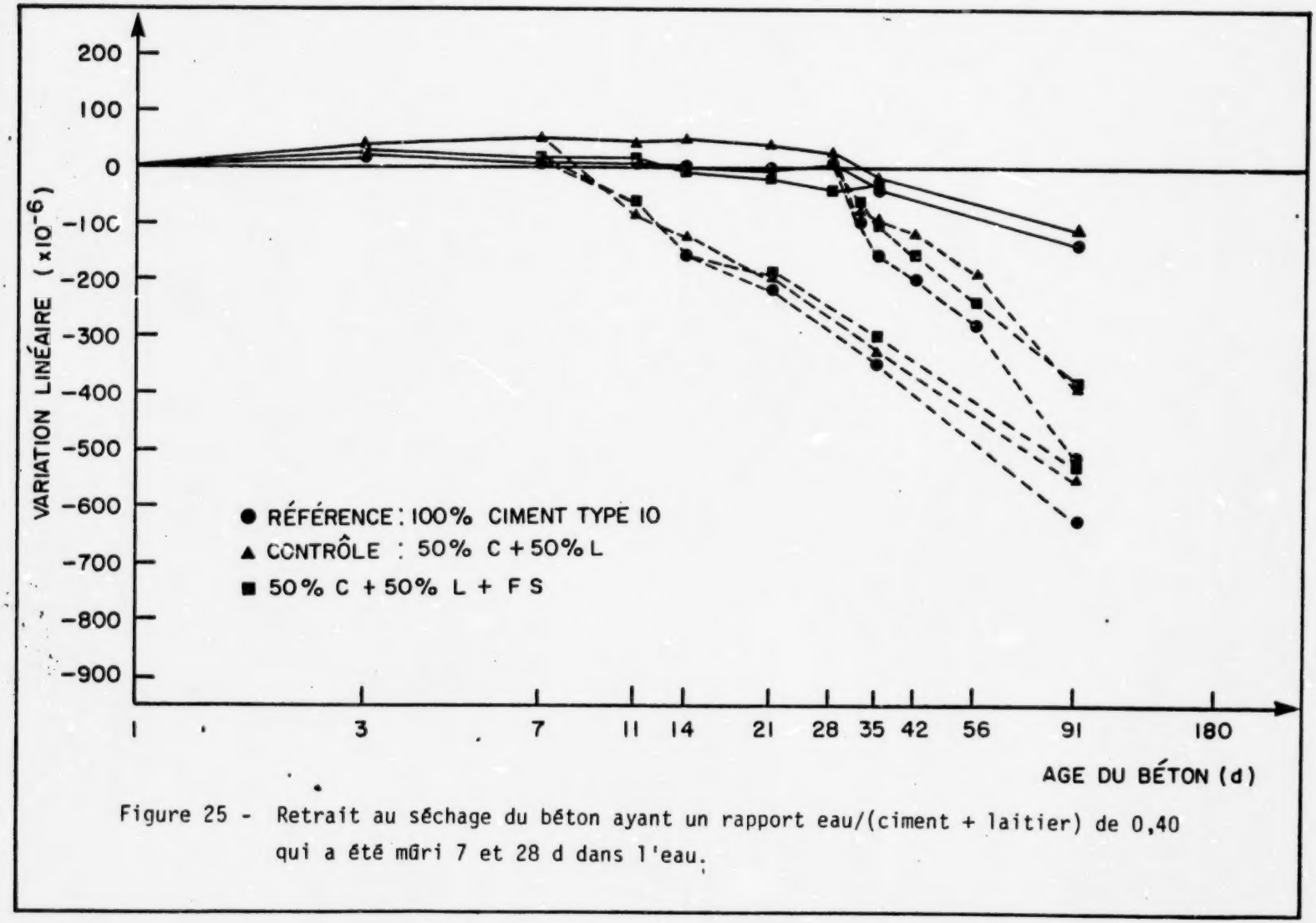

Figure 25 - Retrait au séchage du béton ayant un rapport eau/(ciment + laitier) de 0,40 qui a été mûri 7 et 28 d dans l'eau.

ANNEXE I

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

LABORATOIRE DES MATÉRIAUX
COMPOSITION DES BÉTONS

IDENTIFICATION DU BÉTON			Référence 100% C	Contrôle 50% C 50% L	50% C 50% L 5% F S	50% C 50% L 10% F S	50% C 50% L 15% F S	50% C 50% L 20% F S
DATE DE LA GACHÉE			20-09-83	19-09-83	21-09-83	26-09-83	27-09-83	28-09-83
RÉSULTATS	CIMENT (kg)		260	130	130	130	130	130
	SUPERPLASTIFIANT (L)		-	-	0,2	0,5	1,2	1,6
	AUTRES	Laitier (kg)	-	130	130	130	130	130
		Fumée de silice	-	-	13	26	39	52
		E/C + L	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
	E/C		0,65	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30
	$E/C + POUDRE$		0,65	0,65	0,62	0,59	0,56	0,54
	AFFAISSEMENT (mm)		85	80	85	75	80	80
	AIR (%)		1,3	1,1	1,2	1,1	1,3	1,3
	TEMPÉRATURE EN °C		23	22	21,5	19,5	20	20
MASSE VOLUMIQUE (kg/m^3)	BÉTON FRAIS		2400	2405	2400	2390	2395	2385
	BÉTON DURCI AGE (d)		2420	2440	2410	2415	2415	2400
COMPOSITION (kg/m^3)	EAU		170	170	170	170	170	170
	CIMENT		260	130	130	130	130	130
	SABLE		920	915	900	880	870	850
	PIERRE		1050	1060	1055	1055	1055	1055
	AUTRES	Laitier	-	130	130	130	130	130
		Fumée de silice	-	-	13	26	39	52
ADJUVANTS	A.E.A (ml)		-	-	-	-	-	-
	DISPERSANT (ml)		-	-	-	-	-	-
	SUPERPLASTIFIANT (L)		-	-	0,2	0,5	1,2	1,6

Tableau A-1- Composition des bétons de rapport E/(C + L) = 0,65

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

LABORATOIRE DES MATÉRIAUX
COMPOSITION DES BÉTONS

IDENTIFICATION DU BÉTON			Référence 100% C	Contrôle 50% C 50% L	50% C 50% L 5% F S	50% C 50% L 10% F S	50% C 50% L 15% F S	50% C 50% L 20% F S
DATE DE LA GACHÉE			04-10-83	03-10-83	05-10-83	11-10-83	12-10-83	13-10-83
RÉSULTATS	CIMENT (kg)		330	165	165	165	165	165
	SUPERPLASTIFIANT (L)		-	-	0,4	0,8	1,8	2,5
	AUTRES	Laitier (kg)	-	165	165	165	165	165
		Fumée de silice	-	-	17	33	50	66
		E/(C + L)	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	E/C		0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	$E/C+POUDRE$		0,50	0,50	0,48	0,45	0,43	0,42
	AFFAISSEMENT (mm)		75	70	75	70	70	80
	AIR (%)		1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,2
	TEMPÉRATURE EN °C		21	21	21	21	21	21
MASSE VOLUMIQUE (kg/m^3)	BÉTON FRAIS		2415	2420	2410	2415	2405	2400
	BÉTON DURCI AGE (d)		2440	2440	2430	2420	2420	2420
COMPOSITION (kg/m^3)	EAU		165	165	165	165	165	165
	CIMENT		330	165	165	165	165	165
	SABLE		870	865	845	825	805	785
	PIERRE		1050	1060	1055	1060	1055	1055
	AUTRES	Laitier	-	165	165	165	165	165
		Fumée de silice	-	-	17	33	50	66
ADJUVANTS	A.E.A (mL)		-	-	-	-	-	-
	DISPERSANT (mL)		-	-	-	-	-	-
	SUPERPLASTIFIANT (L)		-	-	0,4	0,8	1,8	2,5

Tableau A-2 - Composition des bétons de rapport E/(C + L) = 0,50

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

LABORATOIRE DES MATÉRIAUX
COMPOSITION DES BÉTONS

IDENTIFICATION DU BÉTON			Référence 100% C	Contrôle 50% C 50% L	50% C 50% L 5% F S	50% C 50% L 10% F S	50% C 50% L 15% F S	50% C 50% L 20% F S
DATE DE LA GACHÉE			18-10-83	17-10-83	19-10-83	24-10-83	25-10-83	26-10-83
RÉSULTATS	CIMENT (kg)		420	210	210	210	210	210
	SUPERPLASTIFIANT (L)		-	-	0,8	2,1	2,6	3,6
	AUTRES	Laitier (kg)	-	210	210	210	210	210
		Fumée de silice	-	-	21	42	63	84
		E/(C + L)	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
	E/C		0,40	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
	$E/C + POUDRE$		0,40	0,40	0,38	0,36	0,35	0,33
	AFFAISSEMENT (mm)		75	70	80	75	80	80
	AIR (%)		1,2	1,1	1,3	1,3	1,3	1,2
	TEMPÉRATURE EN °C		21	21	21	21	21	21
MASSE VOLUMIQUE (kg/m³)	BÉTON FRAIS		2435	2430	2415	2410	2410	2400
	BÉTON DURCI AGE (d)		2440	2445	2430	2425	2420	2420
COMPOSITION (kg/m³)	EAU		170	170	170	170	170	170
	CIMENT		420	210	210	210	210	210
	SABLE		790	780	750	725	700	675
	PIERRE		1055	1060	1055	1055	1055	1050
	AUTRES	Laitier	-	210	210	210	210	210
		Fumée de silice	-	-	21	42	63	84
ADJUVANTS	A.E.A (mL)		-	-	-	-	-	-
	DISPERSANT (mL)		-	-	-	-	-	-
	SUPERPLASTIFIANT (L)		-	-	0,8	2,1	2,6	3,6

Tableau A-3 - Composition des bétons de rapport E/(C + L) = 0,40

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

LABORATOIRE DES MATÉRIAUX

CARACTÉRISTIQUES DU BÉTON

FRAIS ET DURCI

IDENTIFICATION DU BÉTON			Référence 100% C	Contrôle 50% C 50% L	50% C 50% L 5% F S	50% C 50% L 10% F S	50% C 50% L 15% F S	50% C 50% L 20% F S
DATE DE LA GACHÉE			20-09-83	19-09-83	21-09-83	26-09-83	27-09-83	28-09-83
RÉSULTATS	CIMENT (kg)		260	130	130	130	130	130
	SUPERPLASTIFIANT (L)		-	-	0,2	0,5	1,2	1,6
	AUTRES	Laitier (kg)	-	130	130	130	130	130
		Fumée de silice	-	-	13	26	39	52
		E/(C + L)	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
	E/C		0,65	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30
	E/C + POUDRE		0,65	0,65	0,62	0,59	0,56	0,54
	AFFAISSEMENT (mm)		85	80	85	75	80	80
	AIR (%)		1,3	1,1	1,2	1,1	1,3	1,3
RÉSISTANCE EN COMPRESSION (MPa)	1 d		8,7	2,1	2,5	2,7	3,4	3,4
	3 d		16,0	6,0	6,7	8,0	8,3	9,1
	7 d		21,0	10,0	11,9	15,7	18,5	22,7
	14 d		-	-	-	-	-	-
	28 d		28,3	20,6	26,2	31,7	35,3	38,0
	56 d		30,5	24,1	31,3	37.8	41,3	42,1
	91 d		32,5	27,6	35,2	40,1	45,2	47,4
	180 d							
	1 AN		-	-	-	-	-	-

Tableau A-4 - Caractéristiques du béton frais et durci de rapport E/(C + L) = 0,65

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

LABORATOIRE DES MATÉRIAUX

CARACTÉRISTIQUES DU BÉTON

FRAIS ET DURCI

IDENTIFICATION DU BÉTON			Référence 100% C	Contrôle 50% C 50% L	50% C 50% L 5% F S	50% C 50% L 10% F S	50% C 50% L 15% F S	50% C 50% L 20% F S
DATE DE LA GACHÉE			04-10-83	03-10-83	05-10-83	11-10-83	12-10-83	13-10-83
RÉSULTATS	CIMENT (kg)		330	165	165	165	165	165
	SUPERPLASTIFIANT(L)		-	-	0,4	0,8	1,8	2,5
	AUTRES	Laitier (kg)	-	165	165	165	165	165
		Fumée de silice	-	-	17	33	50	66
		E/(C + L)	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	E/C		0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	E/C + POUDRE		0,50	0,50	0,48	0,45	0,43	0,42
	AFFAISSEMENT (mm)		75	70	75	70	70	80
	AIR (%)		1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,2
RÉSISTANCE EN COMPRESSION (MPa)	1 d		14,2	5,0	5,5	5,3	6,5	6,8
	3 d		23,1	12,7	12,0	14,7	15,1	15,3
	7 d		30,4	18,8	20,7	25,1	28,5	29,3
	14 d		-	-	-	-	-	-
	28 d		36,5	33,0	38,9	45,5	48,8	47,5
	56 d		39,3	37,2	45,7	51,8	54,7	54,8
	91 d		43,3	42,4	46,6	52,6	56,2	56,6
	180 d							
	1 AN		-	-	-	-	-	-

Tableau A-5 - Caractéristiques du béton frais et durci de rapport E/(C + L) =0,50

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

LABORATOIRE DES MATÉRIAUX

CARACTÉRISTIQUES DU BÉTON

FRAIS ET DURCI

IDENTIFICATION DU BÉTON			Référence 100% C	Contrôle 50% C 50% L	50% C 50% L 5% F S	50% C 50% L 10% F S	50% C 50% L 15% F S	50% C 50% L 20% F S
DATE DE LA GACHÉE			18-10-83	17-10-83	19-10-83	24-10-83	25-10-83	26-10-83
RÉSULTATS	CIMENT (kg)		420	210	210	210	210	210
	SUPERPLASTIFIANT(L)		-	-	0,8	2,1	2,6	3,6
	AUTRES	Laitier (kg)	-	210	210	210	210	210
		Fumée de silice	-	-	21	42	63	84
		E/(C + L)	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
	E/C		0,40	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
	E/C + POUDRE		0,40	0,40	0,38	0,36	0,35	0,33
	AFFAISSEMENT (mm)		75	70	80	75	80	80
	AIR (%)		1,2	1,1	1,3	1,3	1,3	1,2
RÉSISTANCE EN COMPRESSION (MPa)	1 d		20,6	7,0	7,0	8,9	9,1	10,4
	3 d		32,7	16,1	17,6	19,3	21,9	23,3
	7 d		38,3	25,7	30,3	34,3	34,5	37,6
	14 d		-	-	-	-	-	-
	28 d		47,1	46,7	57,1	59,3	60,7	60,1
	56 d		52,3	54,8	62,4	64,5	65,2	69,0
	91 d		53,9	56,4	64,0	63,6	65,1	68,2
	180 d							
	1 AN		-	-	-	-	-	-

Tableau A-6 - Caractéristiques du béton frais et durci de rapport E/(C + L)= 0,40

ANNEXE II

Rapport final/Donnees
supplementaires en rapport avec
un amendement du contract
12ST.23440-3-9061-No. de Serie OST83.00056

TYPE D'ESSAI	MÛRISSEMENT	Age						
		1d	7d	14d	28d	91d	1 an	2 ans
Résistance en compression (cylindres de plastique 150X300 mm)	normalisé	X	X	-	X	X	X	X
	à l'air après 7d	X	X	-	X	X	X	X
Résistance en flexion (100 X 100 X 400mm)	normalisé	-	X	X	X	X	X	X

Tableau 1: Essais effectués sur les différents bétons

Nombre de gâchées réalisées	24
Volume de béton fabriqué	≈ 2,2 m^3
Nombre de cyclindres confectionnés 100 X 100 X 400 mm	342
Nombre de poutres confectionnées 100 X 100 X 400 mm	108

Tableau 2: Répartition de la charge de travail

NATURE ET PROVENANCE	CARACTERISTIQUES PHYSIQUES
- Gros granulat calcaire métamorphique (Lime ridge)	- absorption: 0,6 % - d_{sss} : 2,70 - masse volumique = 1595 kg/m^3 - (20% 20 mm - 50% 14 mm - 30 % 5 mm)
- Sable naturel (Aimé Côté)	- absorption : 1,4 % - d_{sss} : 2,64
- Fumées de silice (SKW)	- d : 2,23 - demande en eau: 139 % - activité pouzolanique: 81 %
- Ciment type 10 (Lafarge)	- d : 3,14 - Blaine: 345 m^2/kg
- Ciment type 10 (St-Laurent)	- d : 3,14 à vérifier - 42 % de particules solides
- Superplastifiant (Mighty 150)	- hydrocarbure sulfonaté neutralisé
- Entraîneur d'air (Pro-Air)	

Tableau : caractéristiques physiques des matériaux utilisés

COMPOSANTES	CIMENT TYPE 10 (Lafarge)	CIMENT TYPE 10 (St-Laurent	FUMEES DE SILICE
SiO_2	21,3		94,0
AL_2O_3	4,6		0,06
Fe_2O_3	2,9		0,03
CaO (Total)	63,5		0,5
CaO (Libre)	0,4		—
MgO	2,4		1,1
SO_3	2,9		0,5
Na_2O	0,11		0,02
K_2O	0,72		0,20
C	—		3,8
Perte au feu P.A.F.	1,6		2,5
Résidu insoluble R.I.	0,48		—

Tableau: Analyse chimique des différents liants utilisés

Marque de ciment	Identification des mélanges	TYPE D'ESSAI	TENEUR EN AIR (%)		
			E/(C + L)- 0,6	E/(C +L)- 0,5	E/(C +L)- 0,4
CIMENT LAFARGE	REFERENCE	Compression	6,0	6,0	5,8
		Flexion	5,0	6,0	5,6
		Compression à l'air après 7 d	5,6	6,2	5,8
	90% C + 10% F.S.	Compression	6,8	5,8	6,8
		Flexion	6,8	5,8	6,8
		Compression à l'air après 7 d	6,8	5,6	6,2
	95% C + 5% F.S.	Compression	5,8	6,2	6,8
	85% C + 15% F.S.	Compression	5,8	6,2	6,6
[illegible]	REFERENCE	Compression		5,4	
	90% C + 10% F.S.	Compression		5,2	

Tableau : Teneur en air des différents bétons

	Rapport E/(C + L) (ciment Lafarge)	Temps des essais	Identification des mélanges	
			Référence 100% C	90% C + 10% F.S
RESISTANCE EN FLEXION (MPA)	0,6	7d	3,4	3,1
		14d	3,7	4,2
		28d	4,5	4,6
		91d		
		1 an		
		2 ans		
	0,5	7d	4,1	3,9
		14d	4,7	4,9
		28d	4,8	5,7
		91d		
		1 an		
		2 ans		
	0,4	7d	4,9	4,7
		14d	5,4	5,6
		28d	6,1	6,5
		91d		
		1 an		
		2 ans		

Tableau : Résistance en flexion des différents bétons.

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

LABORATOIRE DES MATÉRIAUX

COMPOSITION DES BÉTONS

$\frac{E}{C+F.S.} = 0,6$

IDENTIFICATION DU BÉTON			Réf. 100% C (comp.)	Réf. 100% C flexion)	Réf. 100% C air à 7d	10% F.S. (comp.)	10% F.S. (flexion	10% F.S. air à 7d
DATE DE LA GACHÉE			84/04/03	84/04/04	84/05/22	84/04/09	84/04/10	84/05/30
RÉSULTATS	CIMENT Lafarge (kg)		260	260	260	234	234	234
	SUPERPLASTIFIANT (L)		–	–	–	0,8	0,8	0,8
	AUTRES	Fumée de silice	–	–	–	26	26	26
	E/C		0,6	0,6	0,6	0,67	0,67	0,67
	$E/C+$ POUDRE		0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
	AFFAISSEMENT (mm)		120	110	120	110	115	110
	AIR (%)		6,0	5,0	5,6	6,8	6,8	6,8
	TEMPÉRATURE EN °C		–	–	–	–	–	–
MASSE VOLUMIQUE (kg/m³)	BÉTON FRAIS		2290	2290	2290	2280	2280	2280
	BÉTON DURCI AGE (d)		–	–	–	–	–	–
COMPOSITION (kg/m³)	EAU		156	156	156	156	156	156
	CIMENT Lafarge		260	260	260	234	234	234
	SABLE		825	825	825	815	815	815
	PIERRE		1050	1050	1050	1050	1050	1050
	AUTRES	Fumée de silice	–	–	–	26	26	26
ADJUVANTS	A E A (ml)		130	130	130	305	305	305
	DISPERSANT (ml)		–	–	–	–	–	–
	SUPERPLASTIFIANT (L)		–	–	–	0,8	0,8	0,8

Tableau A-1: Composition des bétons de référence et des bétons contenant 10% de F.S. ayant un rapport E/(C + L) = 0,6 (Ciment Lafarge)

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

LABORATOIRE DES MATÉRIAUX
COMPOSITION DES BÉTONS

$\frac{E}{C + F.S.} = 0,6$

IDENTIFICATION DU BÉTON			5% F.S. (comp.)	15% F.S. (comp.)			
DATE DE LA GACHÉE			84/05/14	84/05/15			
RÉSULTATS	CIMENT Lafarge (kg)		247	221			
	SUPERPLASTIFIANT (L)		0,6	1,7			
	AUTRES	Fumée de silice	13	39			
	E/C		0,63	0,71			
	$E/C + POUDRE$		0,6	0,6			
	AFFAISSEMENT (mm)		120	115			
	AIR (%)		5,8	5,8			
	TEMPÉRATURE EN °C		—	—			
MASSE VOLUMIQUE (kg / m³)	BÉTON FRAIS		2285	2275			
	BÉTON DURCI AGE (d)		—	—			
COMPOSITION (kg / m³)	EAU		156	156			
	CIMENT Lafarge		247	221			
	SABLE		820	810			
	PIERRE		1050	1050			
	AUTRES	Fumée de silice	13	39			
ADJUVENTS	A.E.A (ml)						
	DISPERSANT (ml)		—	—			
	SUPERPLASTIFIANT (L)		0,6	1,7			

Tableau A-2: Composition des bétons contenants 5 et 15% de F.S. ayant un rapport E/(C+ L) = 0,6 (Ciment Lafarge)

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

LABORATOIRE DES MATÉRIAUX
COMPOSITION DES BÉTONS

$\frac{E}{C + F.S.} = 0,5$

IDENTIFICATION DU BÉTON			Réf. 100% C (comp.)	Réf. 100% C (flexion	Réf. 100% C air à 7d	10% F.S. (comp.)	10% F.S. flexion)	10% F.S. air à 7d
DATE DE LA GACHÉE			84/04/16	84/04/16	84/05/23	84/04/18	84/04/24	84/05/23
RÉSULTATS	CIMENT Lafarge (kg)		310	310	310	279	279	279
	SUPERPLASTIFIANT (L)		—	—	—	1,4	1,4	1,4
	AUTRES	Fumée de silice	—	—	—	31	31	31
	E / C		0,5	0,5	0,5	0,56	0,56	0,56
	E / C + POUDRE		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	AFFAISSEMENT (mm)		110	110	115	110	110	110
	AIR (%)		6,0	6,0	6,2	5,8	5,8	5,6
	TEMPÉRATURE EN °C		—	—	—	—	—	—
MASSE VOLUMIQUE (kg / m3)	BÉTON FRAIS		2300	2300	2300	2290	2290	2290
	BÉTON DURCI AGE (d)		—	—	—	—	—	—
COMPOSITION (kg / m3)	EAU		155	155	155	155	155	155
	CIMENT Lafarge		310	310	310	279	279	279
	SABLE		785	785	785	775	775	775
	PIERRE		1050	1050	1050	1050	1050	1050
	AUTRES	Fumée de silice	—	—	—	31	31	31
ADJUVANTS	A.E.A (ml)		185	185	185	330	330	330
	DISPERSANT (ml)		—	—	—	—	—	—
	SUPERPLASTIFIANT (L)		—	—	—	1,4	1,4	1,4

Tableau A-3: Composition des bétons de référence et des bétons contenants 10% de F.S. ayant un rapport E/(C + L) = 0,5 (ciment Lafarge)

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

LABORATOIRE DES MATÉRIAUX
COMPOSITION DES BÉTONS

$\frac{E}{C + F.S.} = 0,5$

IDENTIFICATION DU BÉTON			5% F.S. (comp.)	15% F.S. (comp.)				
DATE DE LA GACHÉE			84/05/16	84/05/16				
RÉSULTATS	CIMENT Lafarge (kg)		295	264				
	SUPERPLASTIFIANT (L)		0,9	2,0				
	AUTRES	Fumée de silice	15	46				
	E/C		0,53	0,59				
	$E/C + POUDRE$		0,5	0,5				
	AFFAISSEMENT (mm)		115	110				
	AIR (%)		6,2	6,2				
	TEMPÉRATURE EN °C		—	—				
MASSE VOLUMIQUE (kg / m³)	BÉTON FRAIS		2295	2285				
	BÉTON DURCI AGE (d)		—	—				
COMPOSITION (kg / m³)	EAU		155	155				
	CIMENT Lafarge		295	264				
	SABLE		780	770				
	PIERRE		1050	1050				
	AUTRES	Fumée de silice	15	46				
ADJUVANTS	A.E.A (ml)		280	615				
	DISPERSANT (ml)		—	—				
	SUPERPLASTIFIANT (L)		0,9	2,0				

Tableau A-4: Composition des bétons contenants 5% et 15% F.S. ayant un rapport E/(C + L) = 0,5 (Ciment Lafarge)

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE (St-Laurent)

LABORATOIRE DES MATÉRIAUX
COMPOSITION DES BÉTONS

$\frac{E}{C + F.S.} = 0,5$

IDENTIFICATION DU BÉTON		Ref. 100% C (comp.)	90%C+10% F.S comp.				
DATE DE LA GACHÉE		84/05/29	84/05/29				
RÉSULTATS	CIMENT (kg)	310	279				
	SUPERPLASTIFIANT (L)	—	1,6				
	AUTRES: Fumée de silice	—	31				
	AUTRES:						
	AUTRES:						
	E/C	0,5	0,56				
	$E/C + POUDRE$	0,5	0,5				
	AFFAISSEMENT (mm)	105	110				
	AIR (%)	5,4	5,2				
	TEMPÉRATURE EN °C	—	—				
MASSE VOLUMIQUE (kg/m³)	BÉTON FRAIS	2300	2290				
	BÉTON DURCI AGE (d)	—	—				
COMPOSITION (kg/m³)	EAU	155	155				
	CIMENT St-Laurent	310	279				
	SABLE	785	775				
	PIERRE	1050	1050				
	AUTRES: Fumée de silice	—	31				
	AUTRES:						
	AUTRES:						
ADJUVENTS	A.E.A (ml)	155	375				
	DISPERSANT (ml)	—	—				
	SUPERPLASTIFIANT (L)	—	1,6				

Tableau A-5: Composition des bétons de référence et du béton contenant 10% de F.S. ayant un rapport E/(C + L) = 0,5 (Ciment St-Laurent)

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

LABORATOIRE DES MATÉRIAUX
COMPOSITION DES BÉTONS

IDENTIFICATION DU BÉTON		Réf. 100% C (comp.)	Réf. 100% C (flexion)	Réf. 100% C air à 7d	10% F.S. (comp.)	10% F.S (flexion	10% F.S air à 7d
DATE DE LA GACHÉE		84/04/24	84/04/26	84/05/24	84/04/26	84/04/30	84/05/24
RÉSULTATS	CIMENT Lafarge (kg)	410	410	410	369	369	369
	SUPERPLASTIFIANT (L)	—	—	—	1,9	1,9	1,9
	AUTRES Fumée de silice	—	—	—	41	41	41
	E / C	0,4	0,4	0,4	0,44	0,44	0,44
	E / C + POUDRE	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	AFFAISSEMENT (mm)	120	110	110	120	115	120
	AIR (%)	5,8	5,6	5,8	6,8	6,8	6,2
	TEMPÉRATURE EN °C	—	—	—	—	—	—
MASSE VOLUMIQUE (kg / m3)	BÉTON FRAIS	2300	2300	2300	2300	2300	2305
	BÉTON DURCI AGE (d)	—	—	—	—	—	—
COMPOSITION (kg / m3)	EAU	164	164	164	164	164	164
	CIMENT Lafarge	410	410	410	369	369	369
	SABLE	675	675	675	665	665	665
	PIERRE	1050	1050	1050	1050	1050	1050
	AUTRES Fumée de silice	—	—	—	—	—	—
ADJUVANTS	A.E.A (ml)	270	270	270	770	770	770
	DISPERSANT (ml)	—	—	—	—	—	—
	SUPERPLASTIFIANT (L)	—	—	—	—	—	—

Tableau A-6: Composition des bétons de référence et des bétons contenant 10% de F.S. ayant un rapport E/(C + L) = 0,4 (Ciment Lafarge)

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

LABORATOIRE DES MATÉRIAUX
COMPOSITION DES BÉTONS

$\frac{E}{C + F.S.} = 0,4$

		IDENTIFICATION DU BÉTON	5% F.S. (comp.)	15% F.S (comp.)				
		DATE DE LA GACHÉE	84/05/17	84/05/17				
RÉSULTATS		CIMENT Lafarge(kg)	390	349				
		SUPERPLASTIFIANT(L)	1,0	2,3				
	AUTRES	Fumée de silice	20	61				
	AUTRES							
	AUTRES							
		E/C	0,42	0,47				
		$E/C + POUDRE$	0,4	0,4				
		AFFAISSEMENT (mm)	120	115				
		AIR (%)	5,8	6,6				
		TEMPÉRATURE EN °C	—	—				
MASSE VOLUMIQUE (kg/m³)		BÉTON FRAIS	2295	2280				
		BÉTON DURCI AGE (d)	—	—				
COMPOSITION (kg/m³)		EAU	164	164				
		CIMENT Lafarge	390	349				
		SABLE	670	655				
		PIERRE	1050	1050				
	AUTRES	Fumée de silice	20	61				
	AUTRES							
	AUTRES							
ADJUVENTS		A.E.A (ml)	635	1180				
		DISPERSANT (ml)	—	—				
		SUPERPLASTIFIANT (L)	1,0	2,3				

Tableau A-7: Composition des bétons contenant 5% et 15% de F.S. ayant un rapport E/(C + L) = 0,4 (Ciment Lafarge)

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

LABORATOIRE DES MATÉRIAUX

CARACTÉRISTIQUES DU BÉTON $\frac{E}{C+S} = 0,6$

IDENTIFICATION DU BÉTON			Réf. 100% C (comp.)	Réf. 100% C (flexion)	Réf. 100% C air à 7d	10% F.S. (comp.)	10% F.S. (flexion)	10% F.S. air à 7d
DATE DE LA GACHÉE			84/04/03	84/04/04	04/05/22	84/04/09	84/04/10	84/05/30
RÉSULTATS	CIMENT Lafarge (kg)		260	260	260	234	234	234
	SUPERPLASTIFIANT (L)		—	—	—	0,8	0,8	0,8
	AUTRES	Fumée de silice	—	—	—	26	26	26
	E/C		0,6	0,6	0,6	0,67	0,67	0,67
	$E/C + POUDRE$		0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
	AFFAISSEMENT (mm)		120	110	120	110	115	110
	AIR (%)		6,0	5,0	5,6	6,8	6,8	6,8
RÉSISTANCE EN COMPRESSION (MPa)	1	d	7,1	—	6,5	6,1	—	6,4
	3	d	—	—	—	—	—	—
	7	d	15,4	—	15,8	16,9	—	16,0
	14	d	—	—	—	—	—	—
	28	d	21,2	22,6	24,3	26,8	27,3	29,5
	56	d	—	—	—	—	—	—
	91	d	26,2	—	27,9	33,3	—	30,7
	180	d	—	—	—	—	—	—
	1	an		—			—	
	2	ans		—			—	

Tableau A-8: Caractéristiques du béton frais et durci de rapport E/(C + F.S.) = 0,6

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

LABORATOIRE DES MATÉRIAUX

CARACTÉRISTIQUES DU BÉTON

$\frac{E}{C+C} = 0,6$

IDENTIFICATION DU BÉTON		5% F.S (compression)	15% F.S. (compression)				
DATE DE LA GACHÉE		84/05/14	84/05/15				
RÉSULTATS	CIMENT LAFARGE (kg)	247	221				
	SUPERPLASTIFIANT (L)	0,6	1,7				
	AUTRES: FUMÉE DE SILICE	13	39				
	AUTRES:						
	AUTRES:						
	E/C	0,63	0,41				
	E/C + POUDRE	0,6	0,6				
	AFFAISSEMENT (mm)	120.	115				
	AIR (%)	5,8	5,8				
RÉSISTANCE EN COMPRESSION (MPa)	1 d	5,5	6,2				
	3 d	—	—				
	7 d	15,4	17,4				
	14 d	—	—				
	28 d	26,3	31,4				
	56 d	—	—				
	91 d	33,5	36,4				
	180 d	—	—				
	1 AN						
	2 ANS						

TABLEAU A-9 : CARACTÉRISTIQUES DU BÉTON FRAIS ET DURCI DE RAPPORT $E/(C+F.S) = 0,6$

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

LABORATOIRE DES MATÉRIAUX

CARACTÉRISTIQUES DU BÉTON

$\frac{E}{C+S} : 0.5$

IDENTIFICATION DU BÉTON			REFERENCE 100% C (COMPRESSION)	REFERENCE 100% C (FLEXION)	REFERENCE 100% C AIR ENTR. %	10% FS (COMPRESSION)	10% FS (FLEXION)	10% FS AIR ENTR. %
DATE DE LA GACHÉE			84/04/16	84/04/16	84/05/23	84/04/18	84/04/24	84/05/23
RÉSULTATS	CIMENT LAFARGE (kg)		310	310	310	279	279	279
	SUPERPLASTIFIANT (L)		—	—	—	1,4	1,4	1,4
	AUTRES	FUMÉE DE SILICE	—	—	—	31	31	31
	E/C		0,5	0,5	0,5	0,56	0,56	0,56
	E/C + POUDRE		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	AFFAISSEMENT (mm)		110	110	115	110	110	110
	AIR (%)		6,0	6,0	6,2	5,8	5,8	5,6
RÉSISTANCE EN COMPRESSION (MPa)	1 d		8,6	—	8,7	12,1	—	10,9
	3 d		—	—	—	—	—	—
	7 d		21,7	—	21,1	25,1	—	25,7
	14 d		—	—	—	—	—	—
	28 d		28,0	28,6	30,2	41	39,5	40,7
	56 d		—	—	—	—	—	—
	91 d		33,5	—	33,6	44,2	—	42,9
	180 d		—	—	—	—	—	—
	1 AN			—			—	
	2 ANS			—			—	

TABLEAU A-10 : CARACTÉRISTIQUES DU BÉTON FRAIS ET DURCI DE RAPPORT $E/(C+F.S) = 0,5$

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

LABORATOIRE DES MATÉRIAUX

CARACTÉRISTIQUES DU BÉTON

$\frac{E}{C+S} = 0,5$

IDENTIFICATION DU BÉTON			5% FS (compression)	15% F.S. (compression)				
DATE DE LA GACHÉE			84/05/16	84/05/16				
RÉSULTATS	CIMENT Lafarge (kg)		295	264				
	SUPERPLASTIFIANT (L)		0,9	2,0				
	AUTRES	Fumée de silice	15	46				
	E/C		0,53	0,59				
	$E/C + POUDRE$		0,5	0,5				
	AFFAISSEMENT (mm)		115	110				
	AIR (%)		6,2	6,2				
RÉSISTANCE EN COMPRESSION (MPa)	1 d		9,5	9,6				
	3 d		—	—				
	7 d		22,0	23,2				
	14 d		—	—				
	28 d		34,4	39,2				
	56 d		—	—				
	91 d		40,8	43,7				
	180 d		—	—				
	1 AN							
	2 ANS							

TABLEAU A-II : CARACTÉRISTIQUES DU BÉTON FRAIS ET DURCI DE RAPPORT $E/(C+F.S) = 0,5$

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

LABORATOIRE DES MATÉRIAUX

CARACTÉRISTIQUES DU BÉTON

$\frac{E}{C+S} = 0,5$

IDENTIFICATION DU BÉTON			REFERENCE 100% C (compression)	90%C + 10%FS (compression)				
DATE DE LA GACHÉE			84/05/29	84/05/29				
RÉSULTATS	CIMENT ST-LAURENT (kg)		310	279				
	SUPERPLASTIFIANT (L)		—	1,6				
	AUTRES	FUMÉE DE SILICE	—	31				
	E/C		0,5	0,56				
	E/C + POUDRE		0,5	0,5				
	AFFAISSEMENT (mm)		165	110				
	AIR (%)		5,4	5,2				
RÉSISTANCE EN COMPRESSION (MPa)	1 d		9,7	11,3				
	3 d		—	—				
	7 d		24,9	27,4				
	14 d		—	—				
	28 d		30,6	39,2				
	56 d		—	—				
	91 d		35,4	47,9				
	180 d		—	—				
	1 AN							

1 ANS

TABLEAU A-12 : CARACTÉRISTIQUES DU BÉTON FRAIS ET DURCI DE RAPPORT E/(C+FS) = 0,5

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

LABORATOIRE DES MATÉRIAUX

CARACTÉRISTIQUES DU BÉTON

$\frac{E}{C+S} = 0.4$

IDENTIFICATION DU BÉTON			Référence 100% C (compression)	Référence 100% C (FLEXION)	Référence 100% C Air après 7j	10% F.S. (compression)	10% F.S (FLEXION)	10% F.S Air après 7j
DATE DE LA GACHÉE			84/04/24	84/04/26	84/05/24	84/04/26	84/04/30	84/05/24
RÉSULTATS	CIMENT LAFARGE (kg)		410	410	410	369	369	369
	SUPERPLASTIFIANT (L)		—	—	—	1,9	1,9	1,9
	AUTRES	FUMÉE DE SILICE	—	—	—	41	41	41
	E/C		0,4	0,4	0,4	0,44	0,44	0,44
	E/C + POUDRE		0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	AFFAISSEMENT (mm)		120	110	110	120	115	120
	AIR (%)		5,8	5,6	5,8	6,8	6,8	6,2
RÉSISTANCE EN COMPRESSION (MPa)	1 d		13,4	—	14,7	16,2	—	18,1
	3 d		—	—	—	—	—	—
	7 d		29,2	—	28,7	33,7	—	32,0
	14 d		—	—	—	—	—	—
	28 d		36,6	37,6	38,4	45,6	43,3	46,6
	56 d		—	—	—	—	—	—
	91 d		43,3	—	43,2	49,2	—	49,2
	180 d		—	—	—	—	—	—
	1 AN			—			—	
	2 ANS			—			—	

TABLEAU A-3 CARACTÉRISTIQUES DU BÉTON FRAIS ET DURCI DE RAPPORT $E/(C+FS) = 0,4$

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

LABORATOIRE DES MATÉRIAUX

CARACTÉRISTIQUES DU BÉTON

$\frac{E}{C+S} = 0,4$

IDENTIFICATION DU BÉTON			5% F.S. (COMPRESSION)	15% F.S. (COMPRESSION)				
DATE DE LA GACHÉE			84/05/17	84/05/17				
RÉSULTATS	CIMENT Lafarge (kg)		390	349				
	SUPERPLASTIFIANT (L)		1,0	2,3				
	AUTRES	FUMÉE DE SILICE	20	61				
	E/C		0,42	0,47				
	E/C + POUDRE		0,4	0,4				
	AFFAISSEMENT (mm)		120	115				
	AIR (%)		6,8	6,6				
RÉSISTANCE EN COMPRESSION (MPa)	1 d		14,5	15,2				
	3 d		—	—				
	7 d		30,1	32,8				
	14 d		—	—				
	28 d		40,1	43,8				
	56 d		—	—				
	91 d		45,1	48,8				
	180 d		—	—				
	1 AN							
	2 ANS							

TABLEAU A-13 . CARACTÉRISTIQUES DU BÉTON FRAIS ET DURCI DE RAPPORT E/(C+P.S.) = 0,4

POOR

QUALITY

ORIGINAL